

Ing. Helmut WILFINGER

Matrikel-Nr.: 33896

WI-Graz-13

**Einfluss relevanter variabler Betriebskosten auf die
Wirtschaftlichkeit von Hausmüllverbrennungsanlagen**
[Fallbeispiel Stadt Graz]

DIPLOMARBEIT

HOCHSCHULE MITTWEIDA (FH)

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

WIRTSCHAFTSINGENIEURWESEN

Graz, Oktober 2016

Erstprüfer: Prof. Dr. A. Hollidt

Zweitprüfer: Prof. Dr. J. N. Stelling

Arbeit vorgelegt am: 20. Oktober 2016

Bibliographische Beschreibung:

Wilfinger Helmut:

Einfluss relevanter variabler Betriebskosten auf die Wirtschaftlichkeit von Hausmüllverbrennungsanlagen [Fallbeispiel Stadt Graz]

Graz 2016, 83 Seiten, Hochschule Mittweida (FH), Wirtschaftsingenieurwesen, Diplomarbeit Oktober 2016.

Referat:

Ziel der Arbeit ist es für die Erzeugung von Fernwärme mittels Hausmüllverbrennung am Fallbeispiel der Stadt Graz den Einfluss variabler Betriebskosten auf die Wirtschaftlichkeit von Rost- und Wirbelschichtkesselanlagen darzustellen. Dafür werden praxisnahe Produktivitäts-, Wirtschaftlichkeits- und Rentabilitätskennzahlen definiert, sowie Anlagendurchsatz, Anlagenverfügbarkeit und Betriebskostensätze ermittelt und damit ein betriebswirtschaftlicher Systemvergleich hergestellt. Auf Basis dieser Erkenntnisse zeigt eine gekürzte Gewinn- und Verlustrechnung die spezifischen Abfallverbrennungskosten der beiden Verbrennungstechnologien unter Berücksichtigung der festgelegten Rahmenbedingungen.

Bibliographical description:

Wilfinger Helmut:

Influence of relevant variable operating costs on the economy of domestic waste incineration plants [Case study City of Graz]

Graz 2016, 83 pages, University of Applied Sciences Mittweida, Industrial Engineering, Diploma Thesis October 2016.

Abstract:

The aim of the work is to show the influence of variable operating costs on the economic viability of grate and fluidised bed boiler plants for the generation of district heating by means of household refuse incineration at the case study of the City of Graz. To this end, practical productivity, economics and profitability ratios are defined, as well as plant throughput, plant availability and operating cost rates are determined and thus a business-oriented system comparison is established. On the basis of these findings, an abridged profit and loss account shows the specific incineration costs of the two combustion technologies, taking into account the established framework conditions.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis.....	7
1 Einleitung.....	9
1.1 Aufgabenstellung	10
1.2 Zielsetzung	11
1.3 Methodik	12
2 Relevante Grundlagen.....	14
2.1 Abfallwirtschaft	14
2.1.1 Haus- bzw. Siedlungsabfälle und Restmüll	16
2.1.2 Sperrmüll.....	17
2.1.3 Kommunale Klärschlämme	18
2.2 Abfallverbrennung	19
2.2.1 Rostfeuerungsanlagen	21
2.2.2 Wirbelschichtofenanlagen	23
2.2.3 Drehrohrofenanlagen	26
2.3 Teilbereiche der Allgemeinen Betriebswirtschaftslehre	27
2.3.1 Produktivität	28
2.3.2 Wirtschaftlichkeit	29
2.3.3 Rentabilität und Kapitalkostenansatz	30
3 Praxisrelevante Darstellungen.....	33
3.1 Voraussetzungen, Annahmen und Betrachtungsgrenzen.....	34
3.1.1 Anlagenerrichtung	34
3.1.2 Anlagenbetrieb	39
3.1.3 Abfallströme und Mengenentwicklung.....	42
3.2 Investitionsbetrachtung.....	44
3.2.1 Grundstück.....	44
3.2.2 Müllverbrennungsanlagen.....	48
3.2.3 Infrastruktur.....	50
3.3 Betriebskostenbetrachtung	52
3.3.1 Fixkosten.....	52
3.3.2 Variable Fixkosten.....	53
3.3.3 Variable Kosten.....	54

4	Systemkennzahlen und Erfolgsbetrachtung	62
4.1	Betriebstechnische Kennzahlen	63
4.1.1	Anlagendurchsatz und Energieoutput	64
4.1.2	Anlagenverfügbarkeit und Reisezeit.....	66
4.1.3	Betriebskostensätze.....	67
4.2	Betriebswirtschaftliche Kennzahlen	69
4.2.1	Ermittlung einer Produktivitätskennzahl	69
4.2.2	Ermittlung von Wirtschaftlichkeitskennzahlen	70
4.2.3	Ermittlung von Rentabilitätskennzahlen	72
4.3	Bewertung der Praxisrelevanz.....	73
4.3.1	Erfolgsrechnung Rostfeuerungsanlage	74
4.3.2	Erfolgsrechnung Wirbelschichtofenanlage	75
4.3.3	Wirbelschicht vs. Rostfeuerung.....	76
5	Zusammenfassung und Resümee	77
	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	81

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Restmüllzusammensetzung Steiermark 2013 in Massen-%
- Abb. 2: Beispiele für Sperrmüll
- Abb. 3: Klärschlammmentsorgung Steiermark; Stand 2007
- Abb. 4: Schematische Darstellung einer klassischen MVA
- Abb. 5: Schematische Darstellung eines Rostsystems
- Abb. 6: Schematische Darstellung eines Wirbelschichtreaktors
- Abb. 7: Vergleich verschiedener Wirbelschichtverfahren
- Abb. 8: Schematische Darstellung eines Drehrohrsystems
- Abb. 9: Darstellung DuPont-Schema
- Abb.10: Ermittlung der Kapitalkosten
- Abb.11: Ballenzwischenlager für MVA
- Abb.12: Fernwärmeaufbringung Großraum Graz - 2014
- Abb.13: Mengenentwicklung Abfall der Stadt Graz
- Abb.14: Grundmaßnahmen der Instandhaltung
- Abb.15: Übersicht der Stoffströme einer MVA
- Abb.16: Stoffstromübersicht von Rückständen einer Rostfeuerungsanlage
- Abb.17: Massenstrom der Rückstände von der MVA Spittelau
- Abb.18: Massenstrom der Rückstände von der TRV Niklasdorf
- Abb.19: Metallgehalte in Rostschlacken
- Abb.20: Zusammensetzung von Rostschlacken
- Abb.21: Praxisumsetzung von Kennzahlen am Beispiel Gesamtrentabilität

Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Abfallverbrennungsanlagen in der Steiermark
- Tab. 2: Mengenentwicklungsprognosen Graz und Umland
- Tab. 3: Potentiale an thermischer Fraktion aus getrennter Sammlung
- Tab. 4: Investitionsgrößen von Müllverbrennungsanlagen in Österreich
- Tab. 5: valorisierte Investitionsgrößen von Müllverbrennungsanlagen
- Tab. 6: Kostensätze von Müllverbrennungsanlagen
- Tab. 7: Kalkulationskostensätze für die Müllverbrennungsanlage Graz
- Tab. 8: Entsorgungskosten Rostaschen für MVA Graz
- Tab. 9: Entsorgungskosten Wirbelschichtaschen für MVA Graz
- Tab. 10: Beispiele von Abfallheizwerten
- Tab. 11: Abfallpreise 2016
- Tab. 12: GuV Rostfeuerungsanlage
- Tab. 13: GuV Wirbelschichtofenanlage
- Tab. 14: Gegenüberstellung Rostfeuerung vs. Wirbelschicht

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ABWL	Allgemeine Betriebswirtschaftslehre
AfA	Abschreibung für Abnutzung
AG	Aktiengesellschaft
ALSAG	Altlastensanierungsgesetz
Anm.	Anmerkung
Aufl.	Auflage
AVV	Abfallverbrennungsverordnung
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BGBI	Bundesgesetzblatt
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BRAM	Brennstoff aus Müll
BWL	Betriebswirtschaftslehre
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
EBIT	Earnings Bevor Interest and Taxes
EBG	Entsorgungsbeteiligung Graz GmbH
EK	Eigenkapital
ENAGES	Energie- und Abfallverwertungs Gesellschaft mbH
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
EVN	Energieversorger Niederösterreich
ff	folgende
FK	Fremdkapital
EGT	Ergebnis aus gewöhnlicher Geschäftstätigkeit
GK	Gesamtkapital
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GU	Graz Umgebung
GuV	Gewinn- und Verlustrechnung
GWh	Gigawattstunde
HGB	Handelsgesetzbuch
Hrsg.	Herausgeber
HSQ	Health Secure Quality
H _u	unterer Heizwert
i _E	Eigenkapitalkostensatz
i _F	Fremdkapitalkosten
i _G	Gesamtkapitalkostensatz
iA	im Allgemeinen
idF	in der Fassung
idR	in der Regel
idZ	in diesem Zusammenhang
IV	Investitionen
k.A.	keine Angaben
MBA	mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen
min.	mindestens
MJ	Megajoule
MVA	Müllverbrennungsanlage
MWh	Megawattstunden
MW _{th}	Megawatt thermisch
NOPAT	Net Operating Profit after Taxes
NN	No Name
PPP	Public Private Partnership
rd.	rund
RHKW	Reststoffheizwerk
RL	Richtlinie
ROA	Return on Assets
ROI	Return on Investment

RONA	Return on Net Assets
RONOA	Return on Net Operating Assets
ROCE	Return on Capital Employed
ROIC	Return on Invested Capital
SAV	Sachanlagevermögen
Std.	Stunde
tw.	teilweise
UGB	Unternehmensgesetzbuch
URL	Uniform Resource Locator
Vgl.	Vergleich
WACC	Weight Average Cost of Capital
WSO	Wirbelschichtofen
z.B.	zum Beispiel
°C	Grad Celsius
MW _{th}	Megawatt thermisch
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
sec.	Sekunde(n)
to	Tonnen
kg	Kilogramm
kJ	Kilojoule
kW	Kilowatt
%	Prozent
€	Euro
~	ungefähr

1 Einleitung

Die Energieerzeugung – Strom und Wärme - aus der Abfallverbrennung ist heutzutage Stand der Technik und leistet einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasen. Speziell die Anwendung im städtischen und urbanen Raum bringt einerseits den Vorteil einer umweltverträglichen Abfallentsorgung, andererseits werden durch Auskoppelung von Fernwärme die Haushalte mit notwendiger Heizwärme versorgt und dabei auch noch eine Verbesserung der Luftqualität erreicht, da eine große Anzahl an Einzelheizanlagen eingespart werden. Die Anlagen erreichen Wirkungsgrade über 75 %, wobei die vorgegebenen Luftschadstoffgrenzwerte um bis zu 90 % unterschritten werden.¹

Die Fernwärmeversorgung der Stadt Graz erfolgt derzeit überwiegend aus dem kalorischen Kraftwerkspark in der Gemeinde Mellach, ca. 20 km südlich von Graz gelegen. Aus energiepolitischen Gründen besteht die Möglichkeit, dass diese Versorgung nur mehr bis zum Jahr 2020 gesichert ist und daher sind rechtzeitig andere alternative Wärmequellen zur langfristigen Fernwärmeversorgung der Stadt Graz zu evaluieren. Zu diesem Zweck wurde seitens der Stadtregierung eine Arbeits- und Expertengruppe installiert, um die alternativ zur Verfügung stehenden Wärmequellen zu erheben und auf ihre Praxistauglichkeit hin zu bewerten. Eine dieser möglichen Wärmepotentiale stellt die Erzeugung von Fernwärme durch die Verbrennung von Haus- und Gewerbeabfälle dar, wobei sich dazu auch noch der Zusatznutzen einer autarken städtischen Abfallentsorgung ergibt. Die Expertengruppe für diesen Bereich setzte sich im Wesentlichen aus MitarbeiterInnen des Umweltamtes der Stadt Graz, der Holding Graz Service und der Energie Steiermark zusammen. Aufgabe dieser Expertenrunde war es die generellen Daten und die daraus resultierenden Wärmepotentiale zu ermitteln und in den einzelnen Workshops der Projektsteuerausschusses zu erörtern. Neben den dominanten gesellschaftspolitischen Fragestellungen des Standortes und deren Umweltauswirkungen, sowie Infrastruktur inklusive der Verkehrsthe-

¹ Vgl. NN: Müllverbrennungsanlage Spittelau nimmt Betrieb wieder auf
In: Umweltschutz. – Wien: Bohmann Druck und Verlag GmbH&Co.KG – Jahr: 2014 – Heft:
02/2014, Seite 46.

matik und deren raumplanerischen Voraussetzungen samt notwendiger Genehmigungen für eine solche Müllverbrennungsanlage, ist selbstverständlich auch die Wirtschaftlichkeit ein wesentliches Entscheidungskriterium um die Gebührengestaltung durch die öffentliche Hand auch marktkonform und damit bürgerfreundlich umsetzen zu können. Zur Durchführung einer wissenschaftlichen Kostenanalyse an Hand eines Fallbeispiels der Stadt Graz wurde der Verfasser seitens der Energie Steiermark beauftragt, wobei insbesondere die Auswirkungen der relevanten variablen Kosten auf die Wirtschaftlichkeit einer Hausmüllverbrennungsanlage zur Fernwärmeerzeugung im Fokus der Untersuchung liegen und dazu soll diese Diplomarbeit als Grundlage dienen.

1.1 Aufgabenstellung

Um eine wissenschaftliche Objektivierung und damit betriebswirtschaftliche Vergleichbarkeit des Einflusses relevanter Betriebskosten auf die in der Praxis angewandten unterschiedlichen Möglichkeiten der Müllverbrennung darstellen zu können, liegt die Hauptaufgabe in der Identifizierung dieser Faktoren und deren Relevanzbestimmung, sowie die Festlegung und Ermittlung von entsprechenden betriebswirtschaftlichen Vergleichskennzahlen unter der Prämisse der praxisnahen Bedeutung und der gesicherten Datenverfügbarkeit. Dafür ist es notwendig aus tatsächlichen Betriebserfahrungen heraus die maßgeblichen Einflussgrößen zu erheben und deren Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der Verbrennungsanlage zu eruieren. Die betriebswirtschaftliche Grundlage zur Generierung der notwendigen Vergleichskennzahlen kommt aus der Allgemeinen Betriebswirtschaftslehre und stellt damit den theoretischen Teil dieser Arbeit dar. Daraus lassen sich praxisrelevante Kennzahlen entwickeln, welche eine Vergleichbarkeit der einzelnen Abfallverbrennungstechnologien in Bezug auf die ausgewählten Einflussfaktoren zulassen und somit eine wirtschaftswissenschaftliche Objektivierung ermöglichen. Diese Kennzahlen basieren auf Ergebnisse des Gesamtkostenverfahrens der Gewinn- und Verlustrechnung mit welchem iA der betriebswirtschaftliche Erfolg von Produktionsanlagen innerhalb einer bestimmten Periode dargestellt wird. Weiter ist es notwendig die möglichen Techno-

logien zur Hausmüllverbrennung zu erörtern und eine diesbezügliche Auswahl zu treffen. Derzeit werden zumindest zwei Verfahren zur Hausmüllverbrennung großtechnisch eingesetzt, sowie stehen unterschiedliche kesseltechnische Ausgestaltungsmöglichkeiten und Betriebsführungen zur Verfügung.

Aus dieser Variation heraus entstehen schon mehrere Vergleichbarkeiten und daher ist eine diesbezügliche Betrachtung zur Bestimmung des bestmöglichen Anlagenkonzeptes unter den vordefinierten Rahmenbedingungen unbedingt erforderlich. Daher ist die Definition der Kennzahlen und deren Grundlagen essentiell, um eine relative Objektivierung darstellen zu können.

1.2 Zielsetzung

Der Entscheidungsprozess per se über die Realisierung einer Hausmüllverbrennungsanlage zur Fernwärmeerzeugung ist generell ein sehr vielschichtiger und komplexer Vorgang und im Wesentlichen durch gesellschaftspolitische, wirtschaftliche, raumplanerische und umweltrechtliche Aspekte beeinflusst. Das trifft natürlich auch auf das Fallbeispiel der Stadt Graz zu, wobei zwischen den politischen und wissenschaftlichen Faktoren zu unterscheiden ist. Damit man überhaupt in eine politische Diskussion gehen kann, ist es erforderlich die Fakten auf der Sachebene neutral abgearbeitet zu haben. Eines dieser Sachthemen ist die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen zur Fernwärmeerzeugung. Da es allerdings, wie schon beschrieben, eine Mehrzahl an unterschiedlichen Möglichkeiten und Variationen von Anlagenkonzepten gibt, ist eine entsprechende wissenschaftliche Objektivierung als Entscheidungsbasis notwendig. In der ABWL verwendet man für eine solche Veranschaulichung oftmals das Instrument von Kennzahlen, um die Vielfalt von Variationen und deren Ausmaß darzustellen. Um den Umfang auf ein überschaubares Maß einzuschränken wird in dieser Arbeit der Fokus auf die variablen Betriebskosten und deren Einfluss auf die Anlagenwirtschaftlichkeit gelegt. Da die Erzeugung von Fernwärme im Vordergrund steht, wird auch der Bereich der Stromerzeugung in der Betrachtung, wenn überhaupt nur am Rande behandelt. Dieser Umstand hat natürlich auch wesentlichen

Einfluss auf die Auswahlentscheidung des bevorzugten Anlagenkonzeptes. Durch die Schaffung einer fundierten Datenbasis in Theorie und Praxis mit dem Schwerpunkt der betriebswirtschaftlichen Einflussgrößen auf die Wirtschaftlichkeit ausgewählter Anlagenkonzepte und der daraus resultierenden Vergleichskennzahlen entsteht eine relevante Entscheidungsgrundlage für einen zukünftigen fachlichen sowie gesellschaftspolitischen Diskussionsprozess. Außerdem ermöglichen die Ergebnisse auch einen Vergleich zu anderen alternativen Erzeugungsprozessen zur Fernwärmeerzeugung und geben damit eine zusätzliche Information für die weitere Projektentwicklung innerhalb der Steuerungs- und Entscheidungsstrukturen.

1.3 Methodik

Es werden die zur Aufgabenstellung und Zielsetzung notwendigen betriebswirtschaftlichen Grundlagen beschrieben, insbesondere im Hinblick auf die in der Praxis relevanten Faktoren.

Es erfolgt auf Basis von theoretischen Grundlagen eine Einordnung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre (ABWL), dabei werden die in der ABWL maßgeblichen Bereiche auf ihre Relevanz hin gefiltert und die wesentlichen Inhalte und Themen dargelegt. Es wird dabei im Wesentlichen auf betriebstechnische und betriebswirtschaftliche Kennzahlen fokussiert, insbesondere der Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Rentabilität solcher Anlagensysteme.

Ein wesentlicher Bereich ist die Festlegung der zur Vergleichbarkeit notwendigen betriebswirtschaftlichen Kennzahlen und deren Beschreibung und Erläuterung. Dabei wird besonders auf die Anwendbarkeit bzw. Vergleichbarkeit dieser Kennzahlen Bedacht genommen, aber auch auf die zukünftig dafür notwendige verfügbare Datenbasis. Die zum Vergleich notwendigen betriebswirtschaftlichen Kennzahlen sind allgemein gültige Kennzahlen des betrieblichen Wirtschaftens und sind sohin ein Erkenntnisobjekt der BWL. Die in einem Unternehmen zur Verfügung stehenden betriebswirtschaftlichen Verfahrenstechniken liefern die praxisrelevanten Daten zur Festlegung der wesentlichen Erlös- und Kostenfaktoren für die entsprechenden kalorischen Energieerzeugungsanlagen.

Im praxisrelevanten Teil werden auf Basis von Betriebserfahrungen bei diversen Müllverbrennungsanlagen und anderen artverwandten kalorischen Anlagen, wie zum Beispiel Kraftwerksanlagen, die wesentlichen betriebstechnischen sowie betriebswirtschaftlichen Einflussfaktoren auf einen betrieblichen Erfolg erläutert. Außerdem werden die Kennzahlen im Controlling zur Steuerungsunterstützung von Unternehmen eingesetzt und entsprechen daher dem Gebiet der entscheidungsorientierten BWL.

2 Relevante Grundlagen

Dieses Kapitel soll die wesentlichen theoretischen Grundlagen zu den relevanten Kernbereichen beschreiben, dazu gehören

- die Abfallwirtschaft
- die Abfallverbrennung
- Allgemeine Betriebswirtschaftslehre

2.1 Abfallwirtschaft

Die Abfallwirtschaft betrifft alle Wirtschafts- und Lebensbereiche, denn Abfälle entstehen bei der Produktion, Handel, Transport und Konsum von Gütern und Dienstleistungen. Um die Umwelt vor den negativen Auswirkungen von Abfällen zu schützen, wurden entsprechende gesetzliche Regelwerke erstellt, wobei aktuell das Abfallwirtschaftsgesetz 2002 (BGBl I 2002/102 idF) die Grundlage sämtlicher gesetzlicher Vorgaben in Österreich darstellt. Da es sich dabei übergeordnet um eine Angelegenheit der EU handelt, wurde das Abfallwirtschaftsgesetz auf Basis entsprechender europäischer Richtlinien novelliert. Die generellen Ziele der heutigen Abfallwirtschaft sind für Österreich im § 1 AWG 2002 festgelegt. Dieser besagt im Wesentlichen, dass im Sinne eines Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit²

- schädliche Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanzen vermieden bzw. so gering wie möglich zu halten sind
- die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen so gering wie möglich zu halten sind
- Ressourcen geschont werden

und die nachfolgende Abfallhierarchie zu berücksichtigen ist:

1. Abfallvermeidung
2. Vorbereitung zur Wiederverwertung
3. stoffliches Recycling
4. thermische oder sonstige Verwertung
5. Beseitigung

² Vgl. Kodex für Abfallrecht 2015; Seite 5 f.

Daher wurde mit der Umsetzung der Deponieverordnung ein Ablagerungsverbot (Deponierungsverbot) von unbehandelten Abfällen festgelegt. Das hat insbesondere für Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle zur Folge, dass dafür entsprechende Behandlungsanlagen notwendig sind. Das können mechanisch-biologische (MBA) oder auch thermische Anlagen, wie die Müllverbrennung (MVA) sein. Da im dichtbesiedelten urbanen Raum idR eine nachhaltige Abfallentsorgung sowie die Bereitstellung und Versorgung von Fernwärme zu bewerkstelligen ist, sind die Hausmüllverbrennungsanlagen in diesen Bereichen ein bereits häufig umgesetztes Lösungskonzept, wie das Beispiel der Stadt Wien zeigt. Dabei wird der Energieinhalt des Hausmülls zur Erzeugung von Fernwärme genutzt und damit diese beiden Daseinsvorsorgeaufgaben gemeinsam nachhaltig, umweltgerecht und ressourcenschonend gelöst. Auch bezüglich der Luftemissionen ist mittlerweile ein technischer sowie rechtlicher Standard erreicht, der den Betrieb dieser Anlagen im städtischen Gebiet ohne wesentliche Auswirkungen auf Mensch und Umwelt gewährleisten.

In Österreich unterliegen Müllverbrennungsanlagen den gesetzlichen Regelungen der Abfallverbrennungsverordnung (AVV), BGBl II 2002/389 idF, wobei die Ziele diese Verordnung wie folgt definiert sind:³

- keine schädlichen Einwirkungen durch die Verbrennung auf das Leben und die Gesundheit der Menschen, sowie Umwelt
- Emissionen durch die Verbrennung von Abfällen sind so gering wie möglich zu halten
- Effizienz in der Verwendung von eingesetzter Energie

Es gibt noch eine Vielzahl an gesetzlichen Regelungen idZ, sowohl auf europäischen als auch nationalen Ebenen, die alle im Wesentlichen dem Schutz des Menschen und der Umwelt dienen sollen. Österreich hat weltweit betrachtet eines der strengsten Gesetze im Bereich des Umweltschutzes und der Luftreinhaltung, wobei insbesondere der Gesetzesvollzug eine überaus wesentliche Bedeutung für die Schaffung einer nachhaltigen umweltbewussten Gesellschaft darstellt.

³ Vgl. § 1 AVV, BGBl II 2002/389 idF.

2.1.1 Haus- bzw. Siedlungsabfälle und Restmüll

Rechtlich definiert sind Abfälle bewegliche Sachen, deren sich der Besitzer entledigen will oder deren Sammlung, Lagerung und Behandlung im öffentlichen Interesse sind. „Siedlungsabfälle“ sind Abfälle aus privaten Haushalten und Abfälle aus anderen Bereichen, deren Beschaffenheit und Zusammensetzung denen aus privaten Haushalten ähnlich sind.⁴ Für die Praxis bedeutet das, dass sich Siedlungsabfälle aus sämtliche Abfallfraktionen aus Haushalten sowie hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen, Garten- und Parkabfällen, Straßenreinigungsabfällen und Marktabfällen zusammensetzen kann.⁵

In ganz Österreich werden die haushaltsnahen Wertstoffe, wie Altpapier sowie Kartonagen, Altglas, Altmetalle, Bioabfall und Verpackungsabfälle, getrennten vom übrigen nicht gefährlichen Resthausmüll (Restmüll) und Sperrmüll erfasst und entsprechend verwertet.

Für die Hausmüllverbrennung ist die Fraktion des Restmülls als wesentlicher Abfallstrom von Bedeutung. Diese Fraktion setzt sich wiederum aus folgenden Abfallteilfraktionen zusammen:⁶

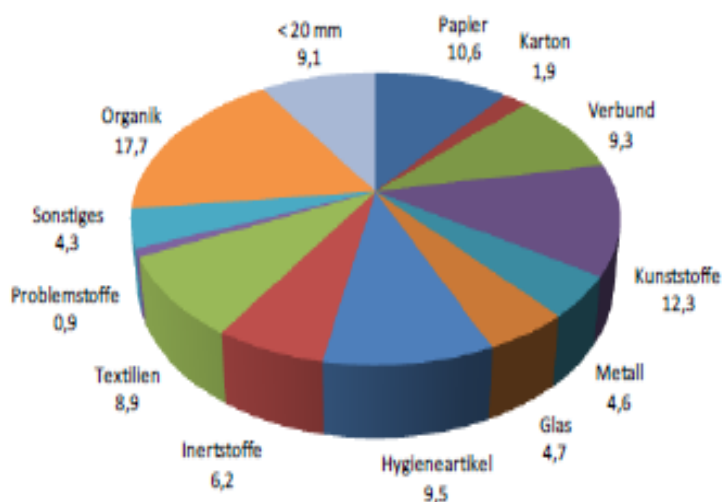


Abb. 1: Restmüllzusammensetzung Steiermark 2013 in Massen-%
(Quelle: <http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/>)

⁴ Vgl. § 2 AWG 2002, BGBl I 2002/102 idF.

⁵ Vgl. Kranert et al. (2010), Seite 40.

⁶ Vgl. Endbericht Sortieranaysen für Restmüll aus der Steiermark (2014), Seite 26 ff.

2.1.2 Sperrmüll

Der Sperrmüll ist eine Teilfraktion des Haus- bzw. Siedlungsabfalles, der wegen seiner Beschaffenheit weder in bereitgestellte Behälter, noch durch die Systemabfuhr übernommen werden kann.⁷

Die Erfassung des Sperrmülls wird idR im urbanen Raum über die Wirtschaftshöfe bewerkstelligt, in dem der Bürger bei diesem seine sperrigen Abfälle abgeben und durch die kommunalen Einrichtungen entsorgen lassen kann, man spricht vom Bringsystem. In ländlichen Strukturen werden teilweise auch einmal im Jahr Hausabholungen des Sperrmülls durch die Gemeinden organisiert, was einem Holsystem entspricht. In der Vergangenheit wurde auch das Altholz mit dem Sperrmüll mitgesammelt, allerdings seit 1996 wird diese getrennt erfasst. Das bedeutet, dass sich der Sperrmüll heutzutage aus unterschiedlichen im Verbund befindlichen Materialien, wie Holz sowie div. Holzprodukte, diverse Kunststoffe, Eisen- und Metalle, Kartonagen etc. zusammensetzt. Dabei überwiegen alte Möbeln, Matratzen, Textilien und diverse andere sperrige Haushaltsartikeln.



Abb.2: Beispiele für Sperrmüll

(Quelle: <https://www.google.at/search?q=fotos+sperrm/>)

Auch dieser Abfallstrom aus dem Bereich der Siedlungsabfälle eignet sich für die Verbrennung in Hausmüllverbrennungsanlagen. Zumeist müssen diese grobsperrigen Teile allerdings vor der Einbringung in die Ofenanlagen vorzerkleinert werden, um einen problemlosen Anlagenbetrieb zu gewährleisten.

⁷ Vgl. § 4 Steiermärkisches AWG 2004, LGBl 2004/62 idF.

2.1.3 Kommunale Klärschlämme

Klärschlämme fallen bei der Reinigung von häuslichen und betrieblichen Abwässern in Abwasserbehandlungsanlagen bzw. in zugehörigen Anlagen zur weitergehenden Abwasserreinigung an.

Kommunaler Klärschlamm stammt idR aus kommunalen Abwasserreinigungsanlagen. Diese Klärschlämme können als abgepresste Filterschlämme bzw. Presskuchen anfallen, abhängig von der eingesetzten Presstechnik und den Flockungshilfsmitteln. Der übliche Trockensubstanzgehalt solcher Klärschlämme bewegt sich zwischen 20 bis 35 % Trockensubstanz. Außerdem gibt es noch Anlagen die nachgeschaltet eine Trocknungsanlage betreiben und damit kann eine Trockensubstanz bis zu 90 % erreicht werden. Die chemische Qualität des Klärschlammes hängt von den angeschlossenen Abwassereinleitern ab und idR gilt, dass je mehr Gewerbe- und Industriebetriebe angeschlossen sind, desto schlechter ist die Qualität bzw. desto höher ist der Schwermetallanteil. Die für die zulässige Verwertung einzuhaltenden Grenzwerte sind in entsprechenden landesgesetzlichen Klärschlammverordnungen vorgegeben und bestimmen damit auch die Entsorgungs- bzw. Verwertungsmöglichkeiten des jeweiligen Klärschlammes aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung. Im Wesentlichen sind das die Schwermetalle Zink, Kupfer, Chrom, Blei, Nickel, Cadmium und Quecksilber.⁸

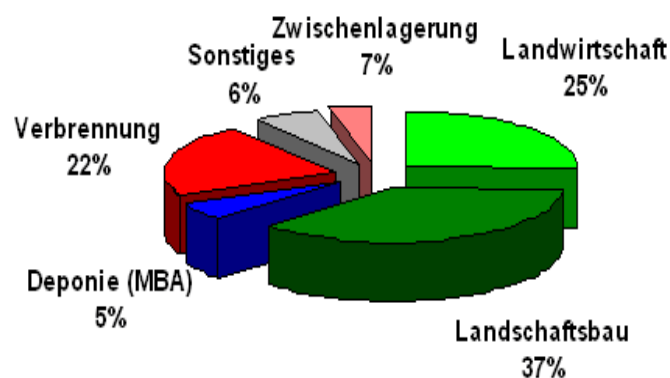


Abb.3: Klärschlamm Entsorgung Steiermark; Stand 2007
(Quelle: <http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/>)

⁸ Vgl. § 3 Steiermärkische Klärschlammverordnung 2007; LGBl 89/2007.

2.2 Abfallverbrennung

Im Bundesland Steiermark gibt es derzeit folgende Anlagenstandorte und Kapazitäten für die Verbrennung von Hausmüll bzw. deren Fraktionen:

Anlagenstandort	Kapazität in t/a	Betreiber
Niklasdorf	100.000	ENAGES mbH.
Zementwerk Peggau	39.900	Wiietersdorfer & Peggauer GmbH
Zementwerk Retznei	80.000	Lafarge Perlmooser GmbH.
Gesamtkapazität	219.900	

Tab. 1: Abfallverbrennungsanlagen in der Steiermark; Stand 2009

(Quelle: <http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/10168271/4336659/>)

Die Abfallverbrennung gehört zu den thermischen Abfallbehandlungsverfahren. Dabei wird der Abfall über eine bestimmte Verweilzeit (min. 2 sec.) einer bestimmten Reaktionstemperatur (min. 850 °C) ausgesetzt. Abbildung 4 zeigt eine schematische Darstellung einer klassischen Hausmüllverbrennungsanlage.

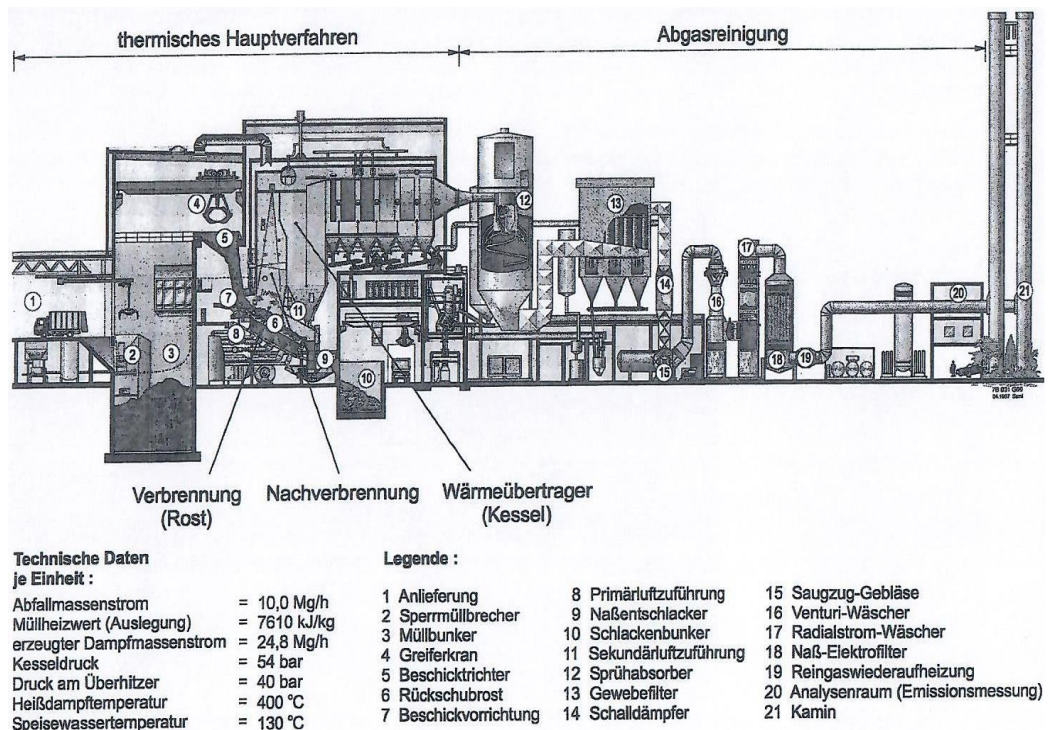


Abb.4: Schematische Darstellung einer klassischen MVA⁹

⁹ Vgl. Scholz et al. (2001), Seite 17.

Entsprechend der eingestellten Gesamtatmosphäre laufen folgende physikalische Grundprozesse ab:¹⁰

- Trocknung
- Pyrolyse
- Vergasung
- Verbrennung

Aufgaben der modernen Abfallverbrennung sind die Behandlung von nicht mehr verwertbaren Abfällen unter folgenden Prämissen:¹¹

- Inertisierung des Restabfalls, bei Minimierung der Emissionen
- Zerstörung organischer Schadstoffe und Konzentration von Schwermetallen
- Verminderung des notwendigen Deponievolumens
- Nutzung des Heizwertes als Energieressource
- Ressourcenschonung durch Nutzung der Verbrennungsrückstände

Aus verfahrenstechnischer Sicht besteht ein eindeutiger optimierbarer Zusammenhang zwischen der Homogenität eines Brennstoffes, dem Luftbedarf und einer daraus resultierenden emissionsarmen, thermischen Umsetzbarkeit. Um diese verfahrenstechnischen Primärmaßnahmen unter Bedachtnahme auf die Erreichung einer hohen Verbrennungseffizienz wurden verschiedenste technische Lösungen zur Bewältigung dieser Herausforderung entwickelt. Im Wesentlichen sind das Verbrennungsanlagen die als

- Rostfeuerungsanlagen
- Wirbelschichtanlagen
- Drehrohrofenanlagen

ausgestaltet sind. Eine kurze Beschreibung dazu folgt in den nachfolgenden Unterkapiteln.

¹⁰ Vgl. Kranert et al. (2010), Seite 293 ff.

¹¹ Vgl. Bilitewski et al. (2013), Seite 312 ff.

2.2.1 Rostfeuerungsanlagen

Bei diesem System befindet sich im Feuerraum ein Feuerrost, auf dem der Abfall durch die Aufgabeeinheit zur Verbrennung eingebracht wird. Der Rost hat folgende wesentliche Funktionen zu erfüllen:

- Transport des Abfalles durch den Feuerraum
- Durchmischung und gleichmäßige Verteilung über die Rostfläche
- Verteilung der Primärluft für die Feuerung (Unterwind)

Nachfolgende Abbildung stellt schematisch ein Rostfeuerungssystem dar.¹²

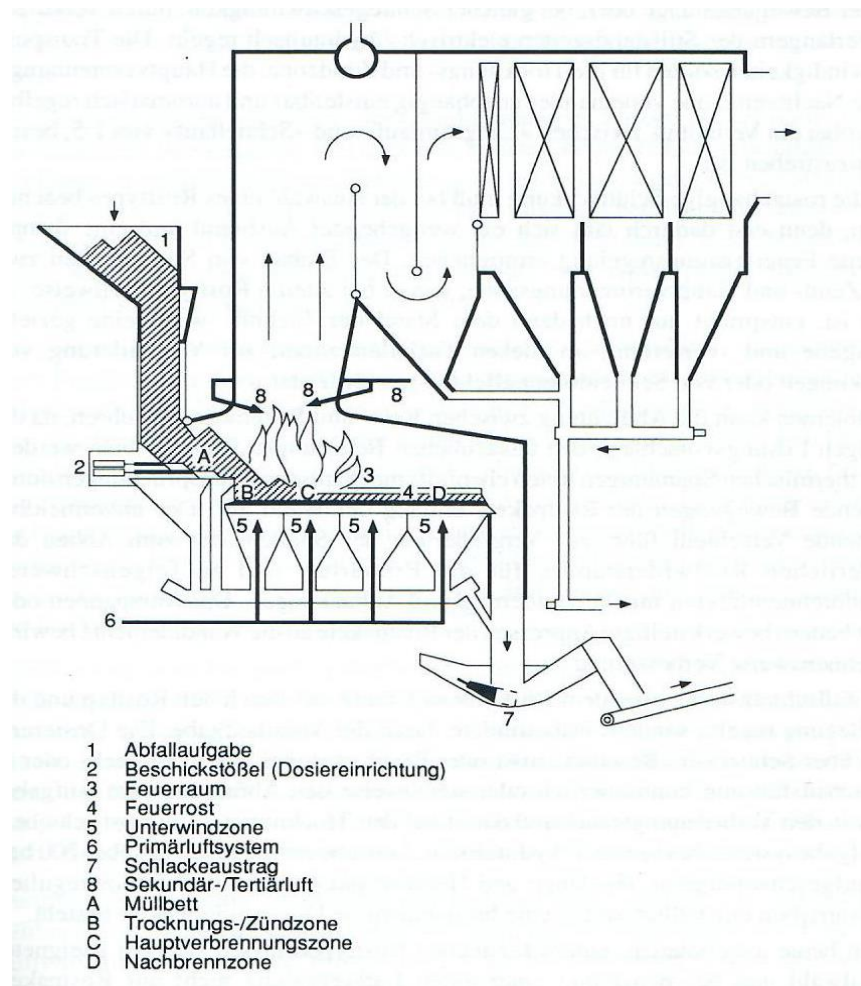


Abb.5: Schematische Darstellung eines Rostsystems

¹² Vgl. Thome´-Kozmiensky (1991); Müllverbrennung und Umwelt 5, Seite 47.

Bei der technischen Ausgestaltung von Rosttypen unterscheidet man grundsätzlich unter Vorschub-, Walzen- und Wanderroste, welche es in geneigter oder waagrechtter Ausführung gibt.

Zu den häufig eingesetzten Schubrosten zählen

- Vorschubrost
- Rückschubrost
- Gegenlaufüberschubrost

Die Rostsysteme sind idR langsam laufende Systeme, deren Rostgeschwindigkeit zur Anpassung auf unterschiedliche Abfallqualitäten stufenlos regelbar ist. Durch möglichst kleine Luftverteilungsschlitze in den Rostpaketen wird ein geringer Widerstand gegenüber dem darüber liegendem Brennstoffbett aufgebaut um den Rostwiderstand zu verringern und die notwendige Verbrennungsluft im Brennstoffbett zu gewährleisten um einen optimalen Ausbrand des Abfalls zu erreichen. Wesentlich dafür ist auch die Abfallschichtstärke über dem Rost, welche durch die Rostbeladung geregelt wird. Die kontinuierliche oder schubweise Dosierung der Abfallaufgabe auf den Rost erfolgt über Schnecken und Beschickungseinrichtungen in Einfach- oder Mehrfachausführungen.

Generell sollte bei den Standardrostsystemen die Rostbelastung eine Tonne Abfall pro m^2 Rostfläche in der Hauptbrennzone nicht übersteigen, das entspricht einer thermischen Rostbelastung von ca. 1.000 bis 1.200 kW/m^2 , abhängig vom Abfallheizwert und dem Primärluftüberschuss.

Für das Erreichen einer optimalen Abfallverbrennung ist auch die technische Ausgestaltung des Feuerraumes verantwortlich. Um die bei der Verbrennung entstehenden Rauchgase gezielt leiten, mischen und verbrennen zu können, erfolgt die Rauchgasableitung in unterschiedlichen Strömungsführungen, wie¹³

- Gleichstromverfahren
- Gegenstromverfahren
- Mittelstromverfahren

¹³ Vgl. Thome´-Kozmiensky (1991); Müllverbrennung und Umwelt 5, Seite 46 ff.

2.2.2 Wirbelschichtofenanlagen

Definitionsgemäß ist die Wirbelschicht ein Zustand, in dem in einem Reaktor befindliche Feststoffpartikeln durch ein von unten nach oben strömendes fluides Medium von ihrem Festbett aufgewirbelt werden. Der Übergang von Festbett zum Wirbelbett wird Wirbelpunkt genannt und ist die technische Voraussetzung für das Wirbelschichtverfahren.¹⁴

Nachfolgende Abbildung zeigt schematisch den Aufbau eines Wirbelschichtreaktors.

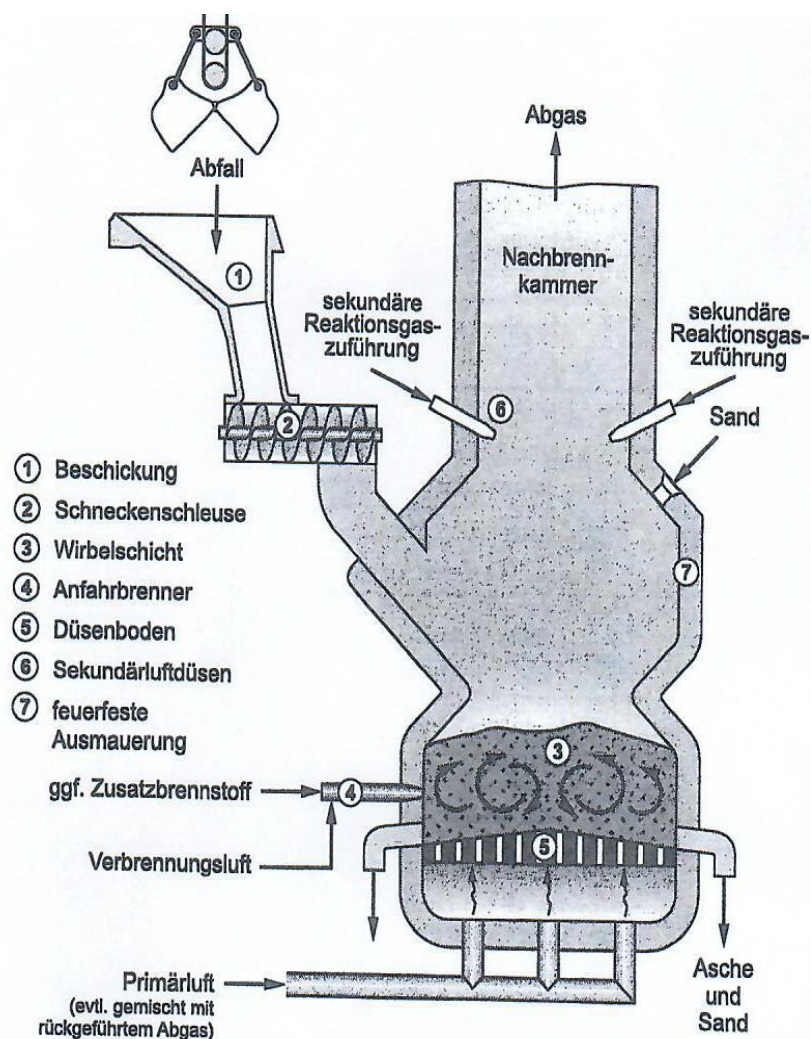


Abb.6: Schematische Darstellung eines Wirbelschichtreaktors

¹⁴ Vgl. Thome´Kozmiensky (2013); Energie aus Abfall – Band 10, Seite 4.

Wirbelschichtreaktoren eignen sich grundsätzlich für die Behandlung von flüssigen, pastösen und stückigen Abfällen. Der stückige Abfallbrennstoff wird idR mit dem feinkörnigen Inertmaterial (meist Quarzsand) mittels eines durch einen Düsenboden von unten einströmenden Reaktionsgases (meist Luft mit tw. erhöhtem Sauerstoffgehalt) in Schwebelage versetzt. Dafür ist es notwendig, dass die Korngrößenzusammensetzung und Korngrößenverteilung bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Um diese Bedingungen zu erreichen, ist für heterogene Abfallbrennstoffe, wie z.B. Fraktionen aus Haus- und Gewerbemüll, eine umfangreiche mechanische Vorbehandlung unbedingt erforderlich. Durch die sich dabei ergebende Vergleichmäßigung bzw. Homogenisierung des Abfallbrennstoffes wird ein im Vergleich zu Rostfeuerungsanlagen deutlich verbesserter Ausbrand erreicht. Bei der Verbrennung von thermischen Fraktionen aus dem Haus- und Gewerbemüll läuft die Verbrennung unter exothermen Reaktionsbedingungen ab, bei heizwertarmen Brennstoffen kann allerdings die Zugabe von externem Brennstoff für eine ordentliche Verbrennung notwendig sein. Die Wirbelschicht kann als Pyrolyse-, Vergasungs- und Verbrennungsanlage betrieben werden. Die durchgesetzten Massenströme können im Rahmen von 0,5 bis zu 20 to/Std. variieren.¹⁵

Beim Einsatz der Wirbelschichttechnologie zur Abfallverbrennung kommt überwiegend das stationäre Verfahren zur Anwendung, wobei aber auch große zirkulierende Wirbelschichtanlagen zur Abfallbehandlung betrieben werden. Generell ist die Entscheidung der Verfahrenswahl im Wesentlichen durch die Brennstoffqualität bestimmt.

Zur technischen Ausgestaltung der Wirbelschicht werden überwiegend folgende Verfahren angewandt:

- Stationäre Wirbelschichtfeuerung (ohne Ascheumlauf)
- rotierende Wirbelschichtfeuerung (mit internem Ascheumlauf)
- zirkulierende Wirbelschichtfeuerung (mit externem Ascheumlauf)

¹⁵ Vgl. Scholz et al. (2001), Seite 190 ff.

Die nachfolgende Abbildung stellt die häufigsten Wirbelschichtverfahren schematisch gegenüber:

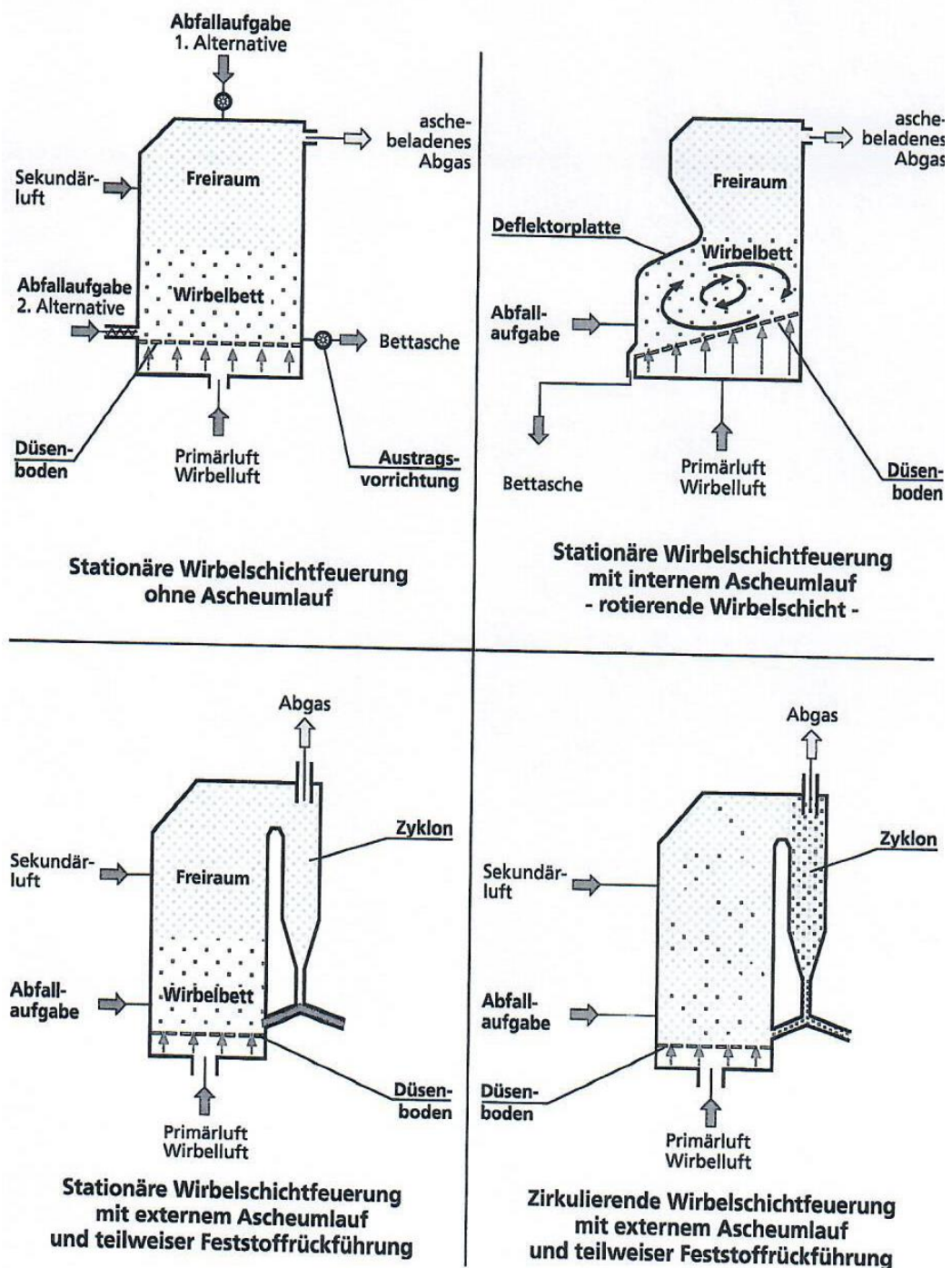


Abb.7: Vergleich verschiedener Wirbelschichtverfahren¹⁶

¹⁶ Vgl. Thome´-Kozmiensky (2013); Energie aus Abfall – Band 10, Seite 14.

2.2.3 Drehrohrofenanlagen

Drehrohrofenanlagen eignen sich in der Müllverbrennung vorwiegend für die Verbrennung von inhomogenen, flüssigen, pastösen, festen, meist gefährlichen Abfällen. Daher wird dieses Verfahren für die Verbrennung von Haus- und Gewerbeabfällen iA nicht eingesetzt. Ein häufig praktizierter Anwendungsfall ist die thermische Nutzung der hochkalorischen Fraktionen ($H_u > 20 \text{ MJ/kg}$) in Drehrohrofenanlagen der Zementindustrie zur Substitution von Primärbrennstoffen. Nachfolgende Abbildung zeigt den schematischen Aufbau einer Drehrohrofenanlage für gefährliche Abfälle.

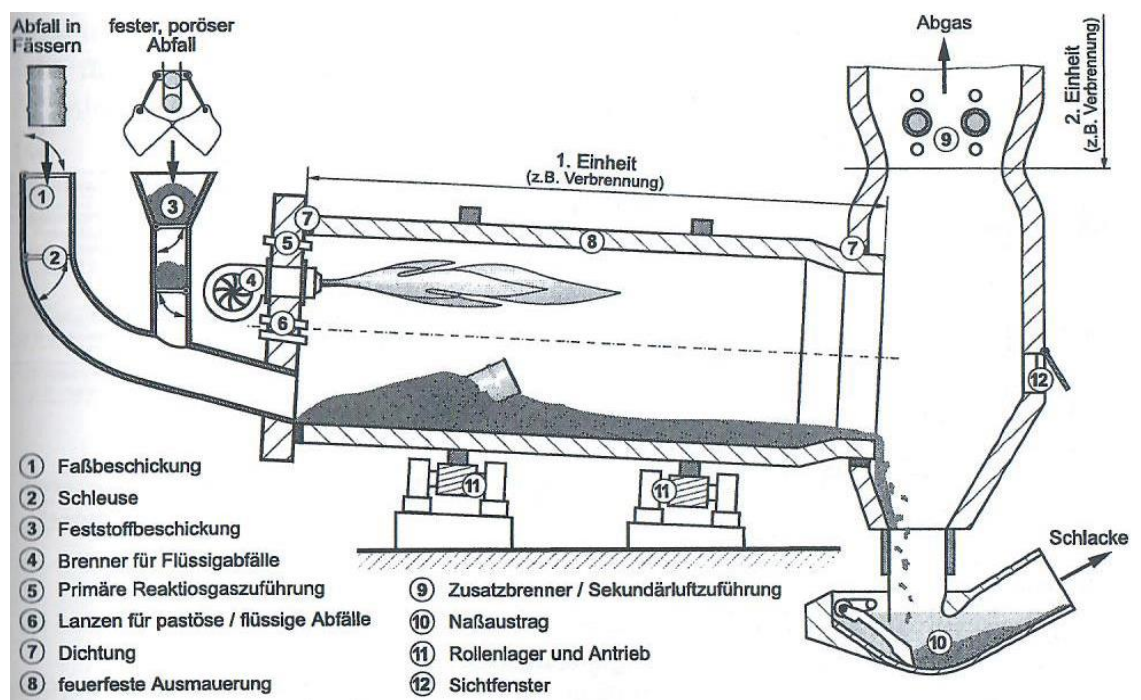


Abb.8: Schematische Darstellung eines Drehrohrsystems¹⁷

Die Einbringung der Abfälle erfolgt idR über die Stirnfläche, wobei flüssige und pastöse Abfälle über Lanzen in das Drehrohr eingebracht werden. Das Drehrohr ist in der Förderrichtung geneigt und durch stufenlose Regelung der Drehzahl wird die Durchsatzgeschwindigkeit bzw. Verweilzeit im Ofen bestimmt. Diese kann zwischen einer halben und ganzen Stunde betragen.

¹⁷ Vgl. Scholz et al. (2001), Seite 145.

2.3 Teilbereiche der Allgemeinen Betriebswirtschaftslehre

In diesem Kapitel werden die betriebswirtschaftlichen Grundlagen für die Darstellung des praxisrelevanten Teiles erläutert. Im Wesentlichen umfasst das den wirtschaftswissenschaftlichen Teilbereich der klassischen Kennzahlensysteme. Diese wiederum lassen sich in die Themen der betriebswirtschaftlichen und den betriebstechnischen bzw. betrieblichen Kennzahlen einteilen.

Kennzahlen sind Zahlen, die einen quantitativ messbaren Sachverhalt in aussagekräftiger und komprimierter Form darstellen und damit vergleichbar machen. Die wesentlichen Aufgaben von diesen Kennzahlen sind Informations-, Steuerungs- und damit auch Zielvorgabefunktionen und werden iA vom operativen Controlling erstellt. Das bekannteste Kennzahlensystem ist das DuPont-Schema, das in der Abbildung 9 verkürzt dargestellt ist.¹⁸

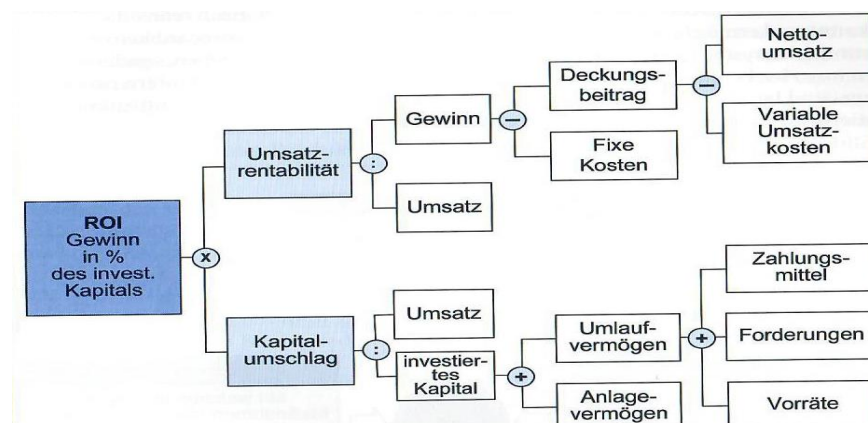


Abb.9: Darstellung DuPont-Schema

Die nachfolgend beschriebenen Kennzahlen sind wesentliche betriebswirtschaftliche Erfolgsziele eines Unternehmens. Daher eignen sie sich besonders für einen Vergleich von Betriebseinheiten, da die Grundlagen dafür in jedem Unternehmen bzw. Wirtschaftseinheit vorhanden sind. Wesentlich dabei ist natürlich, dass man die Systemgrenzen für die Vergleichsbetrachtung für alle Vergleichsobjekte ident ansetzt.

¹⁸ Vgl. Wöhe (2013), Seite 201 ff.

2.3.1 Produktivität

Die Produktivität ist das mengenmäßige Verhältnis der Ausbringungsmenge (Output) zu den eingesetzten Produktionsfaktoren (Input).¹⁹

Bezogen auf die Produktivität von Müllverbrennungsanlagen könnte das beispielsweise das Verhältnis von produzierter Wärme zum eingesetzten Müllbrennstoff (BRAM) sein, um die technische Wirtschaftlichkeit einer Müllverbrennungsanlage zu bewerten. Eine diesbezüglich abgeleitete partielle Produktivitätskennziffer könnte wie folgt definiert sein:

$$\text{Produktivität}_{MVA} = \frac{\text{produzierte Wärmemenge (MWh)}}{\text{eingesetzter BRAM-Menge (to)}}$$

Die Problematik von Teilproduktivitäten liegt allerdings in der Zurechenbarkeit der Outputs auf die jeweilige Bezugsgröße. Daher ist es nicht absolut gewährleistet, dass eine veränderte Ausbringungsmenge unbedingt mit einer veränderten Faktoreneinsatzmenge korreliert.

Daher ist ein eventueller Teilproduktivitätenvergleich nur unter folgenden Prämissen sinnvoll:

1. Die Relation der Einsatzfaktorenmenge bei der Veränderung der Ausbringungsmenge gleich bleibt
und
2. die Einsatzmenge der nicht in die Berechnung einbezogenen Einsatzfaktoren sich parallel zur Ausbringungsmenge entwickelt.

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass es für eine partielle Produktivitätskennziffer keinen klar definierten Produktivitätsmaßstab gibt. Daher ist es aus Gründen der Objektivität notwendig, eine als Quotient ermittelte Produktionskennziffer einem innerbetrieblichen oder auch branchenorientierten (Benchmarking) Leistungsvergleich zu unterziehen, um das erhaltene Ergebnis entsprechend einordnen zu können und die notwendigen Schlussfolgerungen und richtigen Lenkungsmaßnahmen zu treffen.

¹⁹ Vgl. Härdler (2012), Seite 31 ff.

2.3.2 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit ist das wertmäßige Verhältnis vom in Geld bewerteten Input zu Output. Es stellt damit eine dimensionslose Kennzahl dar.²⁰

Als Wirtschaftlichkeitsmaßstab gilt dabei ein Quotient, welche gleich oder größer 1 sein soll, ist dieser Wert kleiner 1 befindet sich das Unternehmen in der Verlustzone.

Nachfolgende Wirtschaftlichkeitsdefinitionen werden in der ABWL generell verwendet:

- Einsatz-Wirtschaftlichkeit = $\frac{\text{Soll-Aufwand (€)}}{\text{Ist-Aufwand (€)}}$
- Kosten-Wirtschaftlichkeit = $\frac{\text{Soll-Kosten (€)}}{\text{Ist-Kosten (€)}}$
- Ausbringungs-Wirtschaftlichkeit = $\frac{\text{Ist-Ertrag (€)}}{\text{Soll-Ertrag (€)}}$
- Ertrags-Wirtschaftlichkeit = $\frac{\text{Ertrag (€)}}{\text{Aufwand (€)}}$
- Produkt-Wirtschaftlichkeit = $\frac{\text{Leistung (€)}}{\text{Kosten (€)}}$

Für die oben angeführten Formen der Wirtschaftlichkeitsdefinitionen ist es aus betriebswirtschaftlicher Sicht allerdings erforderlich zu überprüfen, ob eine etwaige Effizienzsteigerung aus einer Produktivitäts- oder Preisveränderung oder aus beiden resultiert. Falls sich eine Steigerung ausschließlich aus einer Preiserhöhung ergibt, ist dieser Umstand betriebswirtschaftlich suboptimal, da damit aufgrund der Volatilität von Preisen im Allgemeinen eine nachhaltige wirtschaftlich stabile Lage meist nicht gegeben ist.

Bezogen auf die Wirtschaftlichkeit von Müllverbrennungsanlagen könnte das beispielsweise das Verhältnis von Erträgen aus der produzierten Wärme zu Aufwendungen aus der Instandhaltung einer betrachteten Periode sein, um damit die Effizienz einer Müllverbrennungsanlage zu bewerten.

$\text{Wirtschaftlichkeit}_{MVA} = \frac{\text{Erlöse aus produzierter Wärme (€)}}{\text{Instandhaltungskosten (€)}}$

²⁰ Vgl. Härdler (2012), Seite 33 ff.

2.3.3 Rentabilität und Kapitalkostenansatz

Die Rentabilität im allgemeinen Sinn ist das prozentuale Verhältnis von Gewinn zum eingesetzten Kapital innerhalb einer Betrachtungsperiode. In dieser Definition wird die Herkunft des Kapitals nicht berücksichtigt, wie Eigen-, Fremd- oder Gesamtkapital. Ziel ist es einen hohen Eigenkapitalnutzen zu erreichen und daher ist Rentabilität ein Maximierungsproblem.²¹

Für eine Finanzierungsmaßnahme ist die Rentabilität das Verhältnis von Überschuss aus der Kapitalnutzung zum eingesetzten Fremd- und/oder Eigenkapital. Daraus ergeben sich unterschiedliche Teilrentabilitätsformen, wie²²

- Gesamtkapitalrentabilität = $\frac{\text{Gewinn} + \text{Fremdkapitalzinsen (€)}}{\text{Gesamtkapital (€)}} * 100\%$
- Eigenkapitalrentabilität = $\frac{\text{Gewinn (€)}}{\text{Eigenkapital (€)}} * 100\%$
- Fremdkapitalrentabilität = $\frac{\text{Fremdkapitalzinsen (€)}}{\text{Fremdkapital (€)}} * 100\%$

aber auch

- Betriebskapitalrentabilität = $\frac{\text{Betriebsergebnis (€)}}{\text{betriebsnotwendiges Kapital (€)}} * 100\%$
- Projektrentabilität = $\frac{(\text{zurechenbarer}) \text{ Projektgewinn (€)}}{(\text{zurechenbarer}) \text{ Kapitaleinsatz (€)}} * 100\%$

In der Praxis wird auch oftmals der Umsatz in Bezug zum Kapital gestellt. Die sich daraus ergebenden Quotienten werden auch als Umsatzrentabilität bezeichnet und für rasche Vergleiche herangezogen.

- Umsatzrentabilität = $\frac{\text{Umsatz (€)}}{\text{Gesamtkapital (€)}} * 100\%$
- oder
- Umsatzrentabilität = $\frac{\text{Umsatz (€)}}{\text{Eigenkapital (€)}} * 100\%$
- oder
- Umsatzrentabilität = $\frac{\text{Umsatz (€)}}{\text{Fremdkapital (€)}} * 100\%$

²¹ Vgl. Hårdler (2012), Seite 36 ff.

²² Vgl. Jahrmann (2009), Seite 9.

Auf Basis des DuPont-Schemas ergibt sich bei der Verknüpfung von Umsatzrentabilität und dem Kapitalumschlag der sogenannte Return on Investment (ROI), als sehr häufig angewandte und ermittelte Unternehmenskennzahl.²³

- $$\text{ROI} = \frac{\text{Umsatzrentabilität (€)}}{\text{Kapitalumschlag (€)}} * 100\%$$

Aufgrund der Beziehung zwischen Umsatzrentabilität und Kapitalumschlag wird der ROI auch für die Strategieentwicklung zur Unternehmensmehrwertentwicklung herangezogen.

Zusätzlich kann die Verbindung zur Eigenkapitalrentabilität zusammen mit der Eigenkapitalquote hergestellt werden und daraus ergibt sich

- $$\text{ROI} = \frac{\text{Eigenkapitalrentabilität (€)}}{\text{Eigenkapitalquote (€)}} * 100\%$$

Bezogen auf den Vergleich eines Betriebes bzw. der Investition von Müllverbrennungsanlagen könnten sich daraus folgende Rentabilitätskennzahlen als sinnvoll herausstellen:

$\text{Gesamtkapitalrentabilität}_{MVA} = \frac{\text{Gewinn} + \text{Fremdkapitalzinsen (€)}}{\text{eingesetztes Gesamtkapital (€)}} * 100\%$
--

oder

$\text{Umsatzrentabilität}_{MVA} = \frac{\text{erzielter Umsatz (€)}}{\text{eingesetztes Gesamtkapital (€)}} * 100\%$

In vielen Unternehmen wird der gewichtete durchschnittliche Kapitalkostenansatz (WACC = *Weighted Average Cost of Capital*) als Instrument zur Bestimmung der Mindestrendite für Investitionsprojekte herangezogen, oder er wird als festgelegte Größe für die Investitionsberechnungen vorgegeben. Damit wird die Verzinsung des eingesetzten Kapitals zu einer relevanten Einflussgröße für die Umsetzung von Investitionsprojekten.

²³ Vgl. Stelling (2009), Seite 277 ff.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Berechnungsformel der Kapitalkosten als gewogenen durchschnittlichen Zinssatz und deren Bestimmungsfaktoren.²⁴

$i_G = i_E \cdot \frac{EK}{GK} + i_F \cdot \frac{FK}{GK}$		
i_G	=	Gesamtkapitalkostensatz der Unternehmung
i_E	=	Eigenkapitalkostensatz der Unternehmung
i_F	=	Fremdkapitalkostensatz der Unternehmung
$\frac{EK}{GK}$	=	Eigenkapitalquote
$\frac{FK}{GK}$	=	Fremdkapitalquote

Abb. 10: Ermittlung der Kapitalkosten

In der betrieblichen Praxis wird meistens der vereinfachte Ansatz für die Quantifizierung des Kapitaleinsatzes wie folgt getroffen.²⁵

- durchschnittlicher Kapitaleinsatz = $\frac{\text{Anschaffungswert (€)}}{2}$

Dadurch wird methodisch das durchschnittlich gebundene Kapital kontinuierlich gleichbleibend über die Periode vermindert. Dies stellt aber nur eine sehr grobe Annäherung für Investitionsvorhaben dar und man geht damit nicht auf die speziellen Gegebenheiten des Einzelfalles ein. Dadurch ergibt sich generell ein Fehlerpotential von mehreren Prozentpunkten, selbst wenn das durchschnittlich gebundene Kapital korrekt ermittelt wurde. Hinzu kommt, dass der bei der Rentabilitätsbestimmung herangezogene Gewinnbegriff oftmals unterschiedlich interpretiert wird, infolge der Diskussion über die Einbeziehung der kalkulatorischen Zinsen und Abschreibungen. Insbesondere bei Großinvestitionen, wie bei dem Bau einer Müllverbrennungsanlage, ist auch die Gewinnentwicklung über die lange zeitliche Periode nicht konstant, was zu einer weiteren Unschärfe bei einem Rentabilitätsvergleich führen kann.

²⁴ Vgl. Wöhe (2013), Seite 525.

²⁵ Vgl. Däumler et al. (2014), Seite 198 ff.

3 Praxisrelevante Darstellungen

Die Wirtschaftlichkeit von Hausmüllverbrennungsanlagen wird von einer Vielzahl an unterschiedlichen Größen beeinflusst. Übergeordnet sind das die Rahmenbedingungen in Bezug auf Kosten und Erlöse. Die Erlössituation ist iA von der Vergütung für die Hausmüllverbrennung und des Energieabsatzes bestimmt. Da diese beiden Faktoren teilweise stark strukturierten marktwirtschaftlichen Gegebenheiten unterworfen sind, ist der operative Handlungsspielraum für etwaige Veränderungsmaßnahmen nur eingeschränkt vorhanden. Im Bereich der Kosten unterscheidet man fixe und variable Kosten, wobei es auch noch in bestimmten Fällen die variablen Fixkosten, wie z.B. Personalkosten, gibt.

Zu den für eine Müllverbrennung wesentlichen Fix- bzw. Gemeinkosten zählen

- Miete bzw. Pacht
- Verwaltung und Administration
- Versicherungen
- Wartungsverträge
- Abschreibungen für Abnutzung
- Zinsendienst

aber auch

- Personal²⁶

Die wesentlichen variablen Einzel- bzw. Betriebskosten sind für eine Müllverbrennungsanlage bzw. ein kalorisches Kraftwerk

- Instandhaltung
- Rückstandsentsorgung
- Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe
- Energieverbrauch

²⁶ siehe dazu Kapitel 3.2.3.

3.1 Voraussetzungen, Annahmen und Betrachtungsgrenzen

Um für eine Vergleichsbetrachtung bei unterschiedlichen Systemen eine objektivierte Aussage treffen zu können, ist die Gegenüberstellung unter denselben bzw. annähernd gleichen Rahmenbedingungen unbedingt erforderlich, damit eine entsprechend eindeutige Ergebnisaussage vorliegt, sowie diesbezügliche Interpretationsspielräume möglichst eingeschränkt werden.

Die nachfolgend beschriebenen bzw. definierten Voraussetzungen bilden in weiterer Folge die Basis für alle diskutierten Betrachtungsszenarien.

3.1.1 Anlagenerrichtung

Auf Basis einer Umweltverträglichkeitserklärung für die Neuerrichtung einer Hausmüllverbrennungsanlage gilt es im ersten Schritt einige wesentliche grundsätzliche Fragestellungen zu erörtern, wie^{27,28}

- Anlagenart und Verfahrenswahl
- Anlagengröße, Anlagendimensionierung inkl. Baugrößen
- Infrastruktur und Grundstücksbedarf
- Anlagenkessel- und Energiekonzept
- Genehmigungsverfahren inkl. Behördenmanagement
- Anlagenbau inkl. Vergabeverfahren
- Projektabwicklung, -steuerung und –organisation
- gesellschaftspolitisches Umfeld

Die grundsätzliche Frage nach der bestmöglichen Anlagentype und der damit verbunden Verfahrenstechnik ist überwiegend durch den zur Verfügung stehenden Abfall als Brennstoff bestimmt. In diesem Zusammenhang gilt es auch die notwendige Anlagengröße, sowohl in Bezug auf die Anlagenleistung bzw. des Brennstoffdurchsatzes, als auch bezüglich der verbauten Anlagenflächen inklusive erforderlicher Infrastrukturflächenbedarf unter Berechnung und Grobplanung der maßgeblichen Dimensionie-

²⁷ Vgl. Umweltbundesamt (2008); Leitfaden für Abfallverbrennungsanlagen, thermische Kraftwerke und Feuerungsanlagen, Seite 20 ff.

²⁸ Vgl. Thome´-Kozmiensky (2011); Energie aus Abfall - Band 8, Seite 133 ff.

rungsparameter festzulegen, um eine Basis für weitere Grundsatzentscheidungen zu erhalten. Eine besondere Herausforderung für den zukünftigen Betrieb und die Anlagenwirtschaftlichkeit ist die Festlegung des Kesselkonzeptes inklusive Energieversorgungs- und Energieabsatzeinrichtungen. Diese Entscheidungen liegen im Spannungsfeld einer hohen Anlagenverfügbarkeit und damit verbundenen niedrigen Instandhaltungskosten, versus hoher Energieausbeute inklusive hohem Energiewirkungsgrad, sowie dem Bedarf und den technisch realisierbaren Möglichkeiten des Energieabsatzes. Natürlich spielt für die faktische Realisierbarkeit einer solchen Großinvestition, insbesondere in einem doch sehr sensiblen öffentlichen Bereich, sowohl die politische als auch gesellschaftliche Akzeptanz eine bedeutende Rolle. Diese Rahmenbedingungen beeinflussen wesentlich die Struktur und die Dauer der Projektentwicklung inklusive Genehmigungsverfahren, sowie das Behördenmanagement, aber auch die Art der Ausschreibung und des Vergabeverfahrens zur Errichtung der Anlage.

Für den aus der Stadt Graz stammenden klassischen Hausmüll aus einem mittelgroßen urbanen Einzugsbereich besteht einerseits die Möglichkeit einer Gesamthausmüllverbrennung mittels Rosttechnologie, oder aber auch eine Wirbelschichtofenanlage mit vorgeschalteter Abfallaufbereitung und Wertstoffabtrennung. Eine Drehrohrofenanlage ist aus den bereits vorangegangen erläuterten Einsatzgründen als nicht bzw. nur für untergeordnete Abfallteilstfraktionen sinnvoll zu erachten und kommt daher für weitere Überlegungen nicht mehr in Betracht. Derzeit überwiegen im mitteleuropäischen Zentralraum die Rostfeuerungsanlagen für den Einsatz zur Hausmüllverbrennung speziell in den Großstädten, wie zum Beispiel in Wien mit den Anlagen Spittelau, Flötzersteig und Pfaffenau.²⁹ Allerdings gibt es auch schon für diesen Bereich Anlagen der Wirbelschichttechnologie mit externer oder interner Abfallaufbereitung, wie die relativ neu errichtete Reststoffverwertungsanlage in Linz.³⁰ Das gemein-

²⁹ Eigentümer und Betreiber der genannten Anlagen ist die Wien Energie GmbH bzw. die Stadt Wien.

³⁰ Eigentümer und Betreiber der genannten Anlage ist die Linz Strom GmbH bzw. die Stadt Linz.

same aller dieser Anlagen, neben der Abfallverbrennung, ist die Erzeugung von Strom und/oder Fernwärme zur bürgernahen Energieversorgung. Außerdem sind alle diese Anlagen aufgrund der exponierten städtischen Standorte in Bezug auf die technische Ausstattung der Abgasreinigung auf den modernsten Stand der Technik, das heißt die Anlagen verfügen zumindest über mehrstufige nasse Rauchgasreinigung mit nachgeschalteter Denitrifikation und Aktivkohle, womit die strengen gesetzlich geforderten Emissionsgrenzwerte gemäß österreichischer Abfallverbrennungsverordnung (AVV) deutlich eingehalten und teilweise um ein Mehrfaches unterschritten werden.³¹

Die verbaute Fläche bzw. der Raumbedarf für eine Müllverbrennungsanlage ist einerseits von der Anlagenart bzw. technischer Konzeption bestimmt, andererseits aber auch durch die maximalen Baugrößen diverser Anlageneinheiten, wie³²

- Beschickungstrichter inkl. diverser Beschickungsaggregate
- Verbrennungsroste inkl. diverser Feuerungseinrichtungen
- Feuerraum und Kesselausmaße

Aus der Praxis kann man für eine 100.000 to Input Hausmüllverbrennungsanlage bzw. einer Brennstoffwärmeleistung von 40 MW_{th}, ausgeführt als horizontaler oder vertikaler Rost- oder Wirbelschichtkessel, von einem Flächenbedarf von ca. 10.000 – 12.000 m² ausgehen. Davon ist ca. die Hälfte als verbaute Fläche für die Verbrennungsanlage inklusive eingehauster Lager-, Aufbereitungs- und Manipulationsbereiche erforderlich, die andere Hälfte ist für Infrastruktur, Zufahrts- und Außenmanipulationsflächen notwendig. Das bedeutet ungefähr einen Mindestgesamtfächenbedarf in der Größe eines Fußballfeldes. Als Beispiele dafür kann die Rostfeuerungsanlage der Kärntner Restmüllverwertungs GmbH (KRV) in A-9601 Arnoldstein, oder die stationär Wirbelschichtofenanlage der Energie- und Abfallverwertungs Ges.m.b.H. (ENAGES) in A-8712 Niklasdorf herangezogen werden.

³¹ Vgl. BMLFUW (2015); Bericht des BMLFUW über Verbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen gem. §18 AVV (Berichtsjahr 2013), Seiten 45 ff, 64 ff.

³² Vgl. Thome´-Kozmiensky (2007); Energie aus Abfall - Band 2, Seite 8 ff.

Die technische Festlegung des Wärmeerzeugungskessels basiert im Wesentlichen auf dem vorher festzulegenden Energiekonzept. Das bedeutet, dass die Art der zukünftigen Energienutzung auch deren Erzeugung bestimmt und daher ist es notwendig hier eine Entscheidung über einen strom- oder wärmeorientierten Betrieb zu treffen. Am Fallbeispiel der Stadt Graz geht es überwiegend um die Erzeugung von Wärme zur städtischen Fernwärmeversorgung und nicht um eine übergeordnete Stromerzeugung. Daher scheint es anhand verschiedenster Praxiserfahrungen sinnvoll eine Sattedampfkesselanlage ohne Dampfturbine für die ausschließliche Fernwärmeerzeugung zu realisieren. Da beim Sattedampfzustand ein thermodynamisches Gleichgewicht bei konstanter Temperatur in einem geschlossenen Raum besteht, verändert sich das Mengenverhältnis zwischen flüssigen und gasförmigen Aggregatsphasen nicht, im Gegensatz zum überkritischen Dampfzustand durch eine entsprechende ungesättigte Dampfüberhitzung.³³ Das bedeutet, dass die erforderlichen Dampfparameter im Sattedampfbereich wesentlich niedriger und materialschonender sind, als bei Heißdampfkesseln mit überkritischen Dampfzuständen. In weitere Folge ergeben sich daraus für Sattedampfkessel wesentlich längere Stand- bzw. Reisezeiten und niedrigere Instandhaltungsaufwendungen. Im Gegenzug bedeutet das allerdings, dass das Energienutzungspotential und damit der Energienutzungsgrad geringer sind, als bei Heißdampfanlagen mit einer Kondensationsentnahmeturbine. Als klassisches Praxisbeispiel für eine Hausmüllverbrennungsanlage mit Sattedampfkessel kann die Anlage Flötzersteig in Wien und als Anlage mit Heißdampfkessel die Anlage Spittelau ebenfalls in Wien genannt werden.³⁴ In Abwägung dieser thermodynamischen Grundsätze muss zu Beginn der Projektplanung eine Entscheidung bezüglich eines verfahrenstechnischen Optimum zwischen hoher Energieeffizienz oder hohen Anlagenverfügbarkeit getroffen werden, die natürlich betriebswirtschaftliche Auswirkungen, sowie für die weitere Projektplanung inklusive Genehmigungsverfahren, große Bedeutung hat.

³³ Vgl. Schwister et al. (2013), Seite 280 ff.

³⁴ Eigentümer und Betreiber der genannten Anlagen ist die Wien Energie GmbH bzw. die Stadt Wien.

Das notwendige Umweltverträglichkeitsverfahren zur Erlangung einer entsprechenden Bau- und Betriebsbewilligung für die Errichtung einer Hausmüllverbrennungsanlage ist durch eine Vielzahl an unterschiedlichen Disziplinen geprägt, wobei in der Startphase folgende Schwerpunktbetrachtungen erforderlich sind, wie³⁵

- Physische und raumbezogenen Merkmale des Vorhabens
- Merkmale der Produktions- oder Verarbeitungsprozesse
- Rückstände und Emissionen
- Immissionszunahmen
- Energiebedarf
- Bestanddauer und Nachsorgemaßnahmen, Beweissicherung

Das bedeutet, dass das Genehmigungsverfahren eine interdisziplinäre Herausforderung sowohl in technischen, als auch gesellschaftlichen und politischen Belangen darstellt. Insbesondere im städtisch dichtbesiedelten Ballungsraum mit den entsprechenden umweltrelevanten Vorbelastungen ist vorab eine Belastungsanalyse für den vorgesehenen Anlagenstandort durchzuführen, um die faktische Realisierbarkeit einschätzen zu können. Trotzdem ist auch bei einem vorerst sehr gut geeignet Anlagenstandort mit mehrjährigen Genehmigungszeiträumen zu rechnen. Als Beispiel für ein überdurchschnittlich langes Genehmigungsverfahren in der Steiermark kann das der TRV Niklasdorf (ENAGES) herangezogen werden, welches vom Antrag der Bewilligung 1994 und Probetriebsbeginn 2004 bis zur endgültigen Betriebsbewilligung 2008 dauerte.³⁶

Bezüglich der Bereiche Anlagenbau, Auftragsvergabeverfahren, Projektabwicklung, Projektsteuerung, Projektorganisation inklusive Behördenmanagement ist es in jedem Fall ratsam ein erfahrenes Projektteam zusammenzustellen und dieses auch durch eine entsprechende Steuerungsgruppe aus internen Entscheidungsträgern unter Beteiligung von externen Experten zu begleiten. Dazu gehören natürlich auch die Einbindung des gesellschaftspolitischen Umfeldes und deren Masterminds.

³⁵ Vgl. Umweltbundesamt (2008); Leitfaden für Abfallverbrennungsanlagen, thermische Kraftwerke und Feuerungsanlagen, Seite 20 ff.

³⁶ H. Spiegel (Energie Steiermark); Umsetzung einer Abfallverbrennungsanlage (Mai 2014).

3.1.2 Anlagenbetrieb

Generell werden sämtliche Leistungsangaben und technische Parameter auf einen Volllastbetrieb bzw. Volllaststunden bezogen. Das bedeutet, dass ein Teillastbetrieb bzw. daraus resultierende Teillaststunden in Volllaststunden umzurechnen sind, damit einheitliche und vergleichbare Ergebnisse dargestellt werden können. Wesentlich für einen technisch einwandfreien und wirtschaftlich optimierten Betrieb ist die kontinuierliche Versorgung mit dem auf die Anlagenbedürfnisse qualitativ abgestimmten Abfallbrennstoff. Dies wird einerseits durch die laufenden Tagesanlieferungen und Lagerung im Vorratsbunker und andererseits durch gezielten Aufbau eines Überbrückungs- bzw. Zwischenlagers erreicht. Diese Zwischenlagerung erfolgt meist auf einem externen dafür genehmigten und baulich ausgestalteten Grundstück im nahen Verfügungsbereich zur Müllverbrennungsanlage.



Abb. 11: Ballenzwischenlager für MVA
(Quelle: Präsentation UVP; 2015)

Generell hängen die Anlagenbetriebszeiten von folgenden wesentlichen Einflussbedingungen ab:

- Anlagenverfügbarkeit
- Brennstoffverfügbarkeit
- Energieabsatz
- Betriebsmanagement

Die Anlagenverfügbarkeit wird im Wesentlichen von den geplanten und ungeplanten Stillständen bestimmt. Der Anlagenbetrieb zwischen zwei „shutdowns“ wird als Reisezeit bezeichnet und ist ein wesentlicher Indikator für die Funktionsfähigkeit der Anlage, wie auch ein auf die Anlagenerfordernisse abgestimmtes Brennstoffmanagement. Grundsätzlich sollte eine MVA betriebstechnisch in der Lage sein im Regelbetrieb rd. 8.000 Volllaststunden zu leisten. Das bedeutet, dass idR eine Jahresrevision und eventuell ein bis zwei kurze Reinigungs- bzw. Inspektionsstillstände pro Jahr notwendig sind.

Die Brennstoffverfügbarkeit ist abhängig von den abgeschlossenen Lieferverträgen mit der kommunalen und/oder privaten Abfallwirtschaft und deren Liefererfüllung. Dabei ist in Bezug auf Disposition, Bunkermanagement und Qualitätseingangskontrolle besonderes Augenmerk zu legen, um eine kontinuierliche sowie quantitative und qualitative optimierte Brennstoffversorgung inklusive notwendiger Reserven zu bewerkstelligen. Selbstverständlich unterliegt die Brennstoffversorgung den allgemein gültigen Einflüssen des aktuellen Abfallmarktes, daher gilt es grundsätzlich zur nachhaltigen, kontinuierlichen und ausreichenden Anlagenversorgung lang- bzw. längerfristige Verträge diesbezüglich abzuschließen. Etwaige notwendige Durchsatzspitzen oder Lieferausfälle können bei Bedarf und Verfügbarkeit über den Spotmarkt kompensiert werden, allerdings sollte die Basisauslastung über entsprechende Langzeitverträge abgesichert sein.

Der Energieabsatz ist neben dem „gate fee“ für die Abfallübernahme der wesentliche betriebswirtschaftliche Erlösbereich und daher ist eine vollständige und effiziente Energienutzung bzw. Absatz von großer Bedeutung. Auch hier befindet man sich im marktwirtschaftlichen Spannungsfeld zwischen Absatzbedarf und Lieferverfügbarkeit, allerdings ist auch hier ein kontinuierlicher Jahresabsatz notwendig um den Anlagenbetrieb zu optimieren und damit den höchst möglichen wirtschaftlichen Nutzen erreichen zu können. Im Fallbeispiel der Stadt Graz bedeutet das, dass die Betriebsführung der MVA auf den Wärmebedarf der Stadt Graz abzustimmen ist, wie aus der nachfolgenden Abbildung ersichtlich wird.

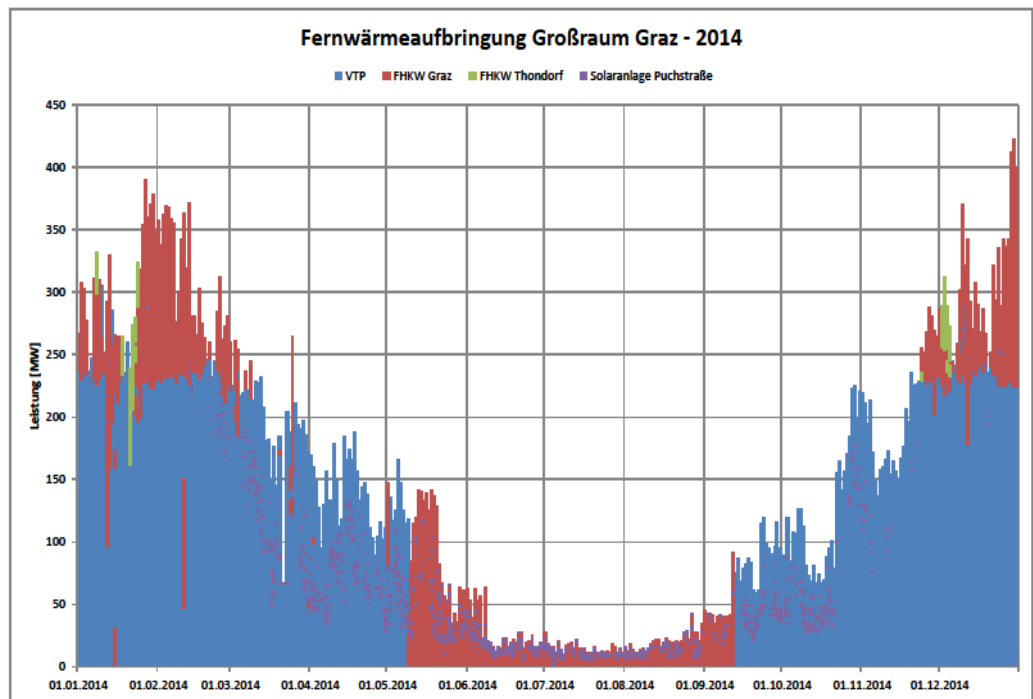


Abb. 12: Fernwärmeaufbringung Großraum Graz - 2014

(Quelle: Energie Steiermark Wärme GmbH; 2014)

Da eine MVA in den wesentlichen Betriebsteilen einer klassischen thermischen Kraftwerksanlage entspricht, ist auch das Betriebsmanagement daraufhin abzustellen. Das umfasst folgende Kernbereiche:

- Personalbedarfsplanung
- Betriebsschichtplanung
- Instandhaltung- und Revisionsplanung
- HSQ-Management
- allgemeine Betriebsführung

Der Personalbedarf steht im unmittelbaren Zusammenhang mit der Betriebsschichtplanung und ist durch den 24/7-Betrieb (24 Stunden pro Tag, 7 Tage die Woche) bestimmt. Die Instandhaltung erfolgt generell während des Betriebes, wobei für die Revisionen die Anlage abzustellen ist. Um die Unfallgefahr auf ein mögliches Minimum reduzieren zu können, empfiehlt sich die Implementierung eines HSQM-Systems.

3.1.3 Abfallströme und Mengenentwicklung

Wie in den Kapiteln 2.1.1 und folgende bereits ausgeführt besteht der für eine Verbrennung relevante Abfall einer Stadt aus den Fraktionen

- Restmüll
- Sperrmüll
- Klärschlamm

Die anschließende Graphik zeigt die Mengenentwicklung des Restmülls und der getrennten Sammlung inklusive der Mengen aus dem Recycling-center. Ergänzend dargestellt werden auch noch die zusätzlichen Fremdmengen, welche größtenteils aus der EBG stammen. Damit bekommt man einen Gesamtüberblick über die Mengenströme, welche in der kommunalen Abfallanlage der Graz Holding GmbH in der Sturzgasse angeliefert und mechanisch behandelt werden.

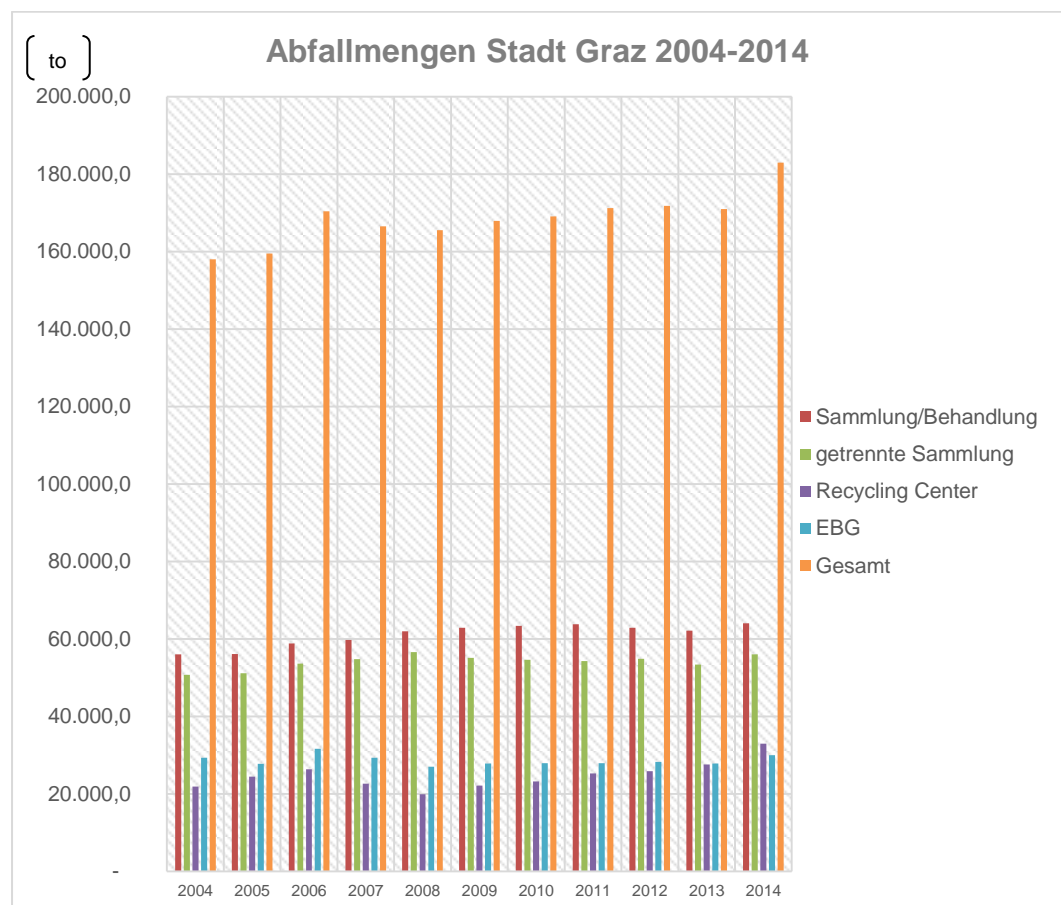


Abb. 13: Mengenentwicklung Abfall der Stadt Graz³⁷

³⁷ Quelle: W. Sattler (Holding Graz); Kennzahlen Abfallmengen 2004 – 2014 (2014).

In der nachfolgenden Tabelle werden die relevanten Massenströme an Abfällen der Stadt Graz inklusive einer Prognose bis 2030 dargestellt. Zusätzlich werden auch noch die Mengen aus den Umlandgemeinden mit angeführt, da diese im Betrachtungszeitraum bis 2030 eine Rolle spielen können. In der momentanen Situation und im Ausblick bis 2020 stehen diese Mengen für eine eventuelle Verbrennung allerdings nicht zur Verfügung. Daher basieren alle weiteren Aussagen inklusive Berechnungen und Darstellungen ausschließlich auf die direkt von der Stadt Graz verfügbaren Abfallströme.

[to]	Graz 2013	Graz 2030	Graz Umgebung 2013	Graz + Umgebung 2030
Restmüll	rd. 57.000	ca. 64.000	ca. 19.000	ca. 83.000
Sperrmüll	rd. 7.000	ca. 8.000	ca. 2.000	ca. 10.000
Klärschlamm	rd. 25.000	ca. 28.000	ca. 8.000	ca. 36.000
Gesamt	rd. 89.000	ca. 100.000	ca. 29.000	ca. 129.000

Tab. 2: Mengenentwicklungsprognosen Graz und Umland³⁸

Natürlich gibt es auch aus den anderen getrennt gesammelten Abfallfraktionen auch noch für die MVA Teilmengen, die aber iA bei einer funktionierenden Sammlung keine besonderen Größenordnungen darstellen. In der Tabelle 3 sind die thermischen Potentiale diverser Abfallströme zusammengefasst dargestellt.

[%]	Anteil thermisch	Herkunft
Altpapier, Karton	ca. 5 - 15	Sortierung
Verpackungen	ca. 30 – 70	Sortierung gelber Sack
Altglas	ca. 2 – 10	Aufbereitung
Bauabfälle	ca. 10 – 40	Sortierung, Aufbereitung
Bioabfall	ca. 5 – 10	Kompostierung

Tab. 3: Potentiale an thermischer Fraktion aus getrennter Sammlung³⁹

³⁸ Vgl. K. Harather (IUT); Investitionsprogramm 2030 Holding Graz, Bereich Abfall (2014).

³⁹ Vgl. F. Neubacher (UVP GmbH); 14. Symposium Energieinnovation TU Graz (2016).

3.2 Investitionsbetrachtung

In diesem Kapitel werden die relevanten Investitionsblöcke, wie

- Grundstück
- Anlagen
- Infrastruktur

in ihren wesentlichen Grundlagen beschrieben und kalkulatorisch bewertet. Natürlich erlaubt der Umfang dieser Arbeit keine technisch detaillierte Ausarbeitung, aber es wird versucht über Benchmarking von bereits bestehenden vergleichbaren Müllverbrennungsanlagen unter Berücksichtigung der aktuellen Preisniveaus eine Annäherung mit niedrigen Schwankungsbreiten und somit für die weiterfolgenden Berechnungen eine realitätsbezogene Basis zu erhalten.

3.2.1 Grundstück

Der Grundstücksbedarf hängt von verschiedensten vorliegenden Rahmenbedingungen oder Fragestellungen ab, wie

- Gesamtmüllverbrennung oder thermische Nutzung mit vorgeschalteter Abfallaufbereitung
- Art der Verbrennungsanlage inkl. Abluftreinigungsverfahren, z.B. Wirbelschicht oder Rostfeuerung, Trocken- vs. Nassverfahren für die Rauchgasreinigung
- bestehende Infrastruktur oder „grüne Wiese“-Projekt
- Zwischenlagerbereich erforderlich
- bauliche Vorgaben, insbesondere Höhenbeschränkungen
- Einhaltung von notwendigen Sicherheitsabständen und sonstigen baulichen Vorschriften
- sonstige Vorgaben aufgrund der Flächenwidmung und vieles mehr.

Daher gibt es keine allgemein gültige Flächenbestimmungsregel, vielmehr sollte man sich an bestehenden Anlagenkonzepten orientieren um für die grundsätzliche Standortwahl und Grobplanung den erforderlichen Flächenbedarf vorab festlegen zu können.

Für das Fallbeispiel der Stadt Graz würden sich anhand der vergleichbaren Größenordnungen bezüglich der Inputmengen an Abfall und daraus resultierenden Brennstoffwärmeleistungen nachfolgende Vergleichsanlagen anbieten.

- Thermische Reststoffverwertung Niklasdorf; Fa. ENAGES
- Kärntner Restmüllverwertung; Fa. KRV

Bei der **ENAGES** in Niklasdorf handelt es sich um eine stationäre Wirbelschichtkesselanlage mit vorgeschalteter einstufiger Abfallaufbereitungsanlage und einer mehrstufigen Rauchgasreinigung im Nassverfahren. Die Anlage hat eine jährliche Durchsatzleistung von rd. 100.000 Tonnen bzw. ca. 12 Tonnen pro Stunde und wurde in eine bestehende Papierfabrik als Energiezentrale unter einem vorgegebenen Platzbedarf von rd. 4.800 m² bebauter Fläche errichtet. Diese Fläche beinhaltet alle wesentlichen notwendigen Anlagenteile der Müllverbrennungsanlage inklusive den Abfallübernahmebereich. Dabei wird der Abfall ausschließlich in den drei Abfallbunkern übernommen und gelagert, ein externes Zwischenlager steht nicht zur Verfügung, da die Anlage ganzjährig mit ca. 8.000 Stunden pro Jahr in Betrieb ist. Es bestehen noch ca. 1.200 m² befestigte Manipulationsflächen und zusätzlich wurde von der Papierfabrik eine ca. 1.000 m² große Halle als Werkstätten- und Lagerbereich für die Instandhaltung dazu gemietet, da die dafür in der Planung vorgesehene Infrastruktur nicht ausreichend war.⁴⁰

Zusammenfassend bedeutet das für die Anlage der ENAGES

- ca. 4.800 m² bebaute Fläche für die thermische und mechanischen Anlagen
- ca. 1.000 m² bebaute Hallenfläche für Werkstätte und Lager
- ca. 1.200 m² befestigte Manipulationsflächen
- sonstige Verkehrsflächen, Zufahrtsflächen etc. sind dabei nicht berücksichtigt

⁴⁰ Quelle: Bescheidsunterlagen der ENAGES Energie- und Abfallverwertungs GmbH.

Die **KRV** betreibt in Arnoldstein eine klassische Hausmüllverbrennungsanlage mittels Rostfeuerung und mehrstufiger Trockenrauchgasreinigung mit einer Jahreskapazität von rd. 100.000 Tonnen bzw. ca. 12 to/Stunde. Die Anlage produziert Strom und Wärme überwiegend zur Versorgung des industriellen Standortes und verfügt über eine verbaute Fläche von 4.000 m², wobei die Höhe des Kesseldaches 40 m und die Kaminhöhe 80 m beträgt. Diese Fläche beinhaltet alle wesentlichen notwendigen Anlagenteile der Müllverbrennungsanlage inklusive den Abfallübernahmebereich. Dabei wird der Abfall ausschließlich in den Abfallbunkern übernommen und gelagert, ein externes Zwischenlager steht nicht zur Verfügung, da die Anlage ganzjährig mit ca. 8.000 Stunden pro Jahr in Betrieb ist. Die Anlage verfügt noch über ca. 2.000 m² befestigte Manipulationsflächen, sonstige Verkehrsflächen, Zufahrtsflächen etc. sind dabei nicht berücksichtigt.⁴¹

Zusammenfassend bedeutet das für die Anlage der KRV

- ca. 4.000 m² bebaute Fläche für die Gesamtanlage
- ca. 2.000 m² befestigte Manipulationsflächen
- sonstige Verkehrsflächen, Zufahrtsflächen etc. sind dabei nicht berücksichtigt

Aufgrund der Annahme, dass beim Fallbeispiel der Stadt Graz keine ganzjährige Betriebsweise der MVA sinnvoll bzw. notwendig ist, wird die Errichtung eines externen Zwischenlagers zur Aufbewahrung der Abfälle außerhalb der Betriebszeiten erforderlich sein.

Für die Ausgestaltung eines solchen Zwischenlagers sind folgende Rahmenbedingungen von Bedeutung:

- Mengenverhältnisse inklusive Ein- und Ausgangsintervalle
- Art und physikalische Eigenschaften des Abfalles
- Art der Verpackung und damit Form des Lagergutes
- Manipulationsequipment sowie Art des An- und Abtransportes
- örtliche Lage und rechtliche Genehmigungsbedingungen

⁴¹ Vgl. KRV/Anlage/technische Daten

URL:http://www.krv.co.at/default2.asp?active_page_id=303&parent_page_id=91&pparent_page_id=1.

Der dazu notwendige Flächenbedarf errechnet sich einerseits durch die Menge und die Lagerungsdauer, sowie die Art der Verpackung und deren mögliche Stapelhöhen. Für das gegenständliche Fallbeispiel bedeutet das eine monatliche Restmüllmenge von rd. 7.000 Tonnen (in 2030) für die Maximaldauer von bis zu 4 Monaten (Juni bis September) anfällt. Bei einem praxisüblichen Verdichtungsgrad von 1:1 und einem Ballenvolumen von 1,2 m³ bzw. Tonnen bei einer Ballengeometrie von 1,0 m Höhe, 1,0 m Breite und 1,2 m Länge, ergibt sich eine rechnerische Ballenanzahl von rd. 23.350 für diesen Zeitraum. Bei einer angenommenen Stapelhöhe von 6 m bzw. 6 Reihen ergibt sich unter Bedachtnahme auf notwendige Verkehrs-, Manipulations-, Bearbeitungs- und Brandabschnittsflächen eine notwendige Zwischenlagerfläche von ca. 6.000 m².

Sollte, wie hier angenommen, der Hausmüll mittels Ballenpresse und anschließender dichter Folienverpackung inklusive eines Stütznetzes bearbeitet werden, ist generell eine befestigte Fläche ausreichend. Anderenfalls ist möglicherweise eine Dichtasphaltfläche mit Oberflächenwassererfassung oder auch eine Überdachung der Fläche notwendig. Die Zwischenlagerung von Klärschlamm und Sperrmüll wird nicht in Betracht gezogen, da dafür einerseits der Aufwand für eine notwendige Vorzerkleinerung als nicht wirtschaftliche erscheint und andererseits die Langzeitlagerung von Klärschlämmen überhaupt als ungeeignet eingestuft wird.

Somit ergibt sich unter den getroffenen Annahmen ein notwendiger Gesamtflächenbedarf von ca. 16.000 m² wie folgt:

- | | |
|--|--------------------------|
| • gemittelter Flächenbedarf für Anlage | ca. 5.000 m ² |
| • gemittelter Flächenbedarf für Manipulation | ca. 2.500 m ² |
| • angenommene Verkehrsflächen | ca. 2.500 m ² |
| • ermittelte Zwischenlagerflächen | ca. 6.000 m ² |

Aufgeschlossene Industriegrundstücke in Graz werden derzeit zwischen € 200,- bis € 250,- pro Quadratmeter gehandelt. Die Pachtpreise liegen bei € 180,- bis € 200,- per m² bzw. bei einem 20 Jahre Nutzungsvertrag zwischen € 9,- bis € 10,- pro m² und Jahr. ⁴²

⁴² Vgl. Humitsch Immobilien Consulting.

URL:<http://www.immobilienscout24.at/expose/>.

3.2.2 Müllverbrennungsanlagen

In der nachstehenden Tabelle 4 werden die Investitionsgrößen von vergleichbaren bereits gebauten Müllverbrennungsanlagen in Österreich in Abhängigkeit von Baujahr, Jahresdurchsatzmenge und Brennstoffwärmeleistung dargestellt.⁴³

MVA	Standort	Baujahr	Menge [to/a]	Leistung [MW_{th}]	Investition [T€]
ASA	Zistersdorf	2007/08	130.000	46	rd. 90.000
ENAGES	Niklasdorf	2002/03	100.000	40	rd. 55.000
KRV	Arnoldstein	2002/03	90.000	35	rd. 75.000
RHKW	Linz	2011/12	200.000	72	rd. 110.000
WSO 4	Wien	2002/03	100.000	38	rd. 64.000

Tab. 4: Investitionsgrößen von Müllverbrennungsanlagen in Österreich

Unter Berücksichtigung des Gesamtbaukostenindex⁴⁴ bezogen auf das Basisjahr 2015 ergeben sich nach entsprechender Valorisierung nachfolgende aktualisierte Investitionsgrundlagen für die Gesamterrichtung von Müllverbrennungsanlagen in Österreich.

MVA	Typ	Baujahr	Menge [to/a]	Index [%]	Investition 2015 [T€]
ASA	Rost	2007/08	130.000	83,8	rd. 105.000
ENAGES	Wirbelschicht	2002/03	100.000	69,6	rd. 72.000
KRV	Rost	2002/03	90.000	69,6	rd. 98.000
RHKW	Wirbelschicht	2011/12	200.000	93,6	rd. 117.000
WSO 4	Wirbelschicht	2002/03	100.000	69,9	rd. 84.000

Tab. 5: valorisierte Investitionsgrößen von Müllverbrennungsanlagen

⁴³ Vgl. Umweltbundesamt (2007); Abfallverbrennung in Österreich; Statusbericht 2006; Seite 64 ff.

⁴⁴ Vgl. Baupreis- und Baukostenindex der Österreichischen Nationalbank (OeNB).

URL: <https://www.oenb.at/isaweb/report.do;jsessionid=53F0C6F38E9CC0CD2F1082B57F31C714?report=6.5>.

Vergleicht man die valorisierten Errichtungsinvestitionen mit den einzelnen Anlagengrößen ergeben sich gemäß Tabelle 6 folgende spezifische Errichtungskostensätze bezogen auf die Inputmenge (To-Invest) bzw. Brennstoffwärmeleistung des Verbrennungskessels (MW-Invest).

MVA	Typ	Menge [to/a]	Investition 2015 [T€]	To-Invest [€ / to]	MW-Invest [T€ / MW]
ASA	Rost	130.000	rd.105.000	~ 810	~ 2.300
ENAGES	Wirbelschicht	100.000	rd. 72.000	~ 720	~ 1.800
KRV	Rost	90.000	rd. 98.000	~ 1.100	~ 2.800
RHKW	Wirbelschicht	200.000	rd.117.000	~ 600	~ 1.600
WSO 4	Wirbelschicht	100.000	rd. 84.000	~ 840	~ 2.200

Tab. 6: Kostensätze von Müllverbrennungsanlagen

Daraus ist abzuleiten, dass die spezifischen Errichtungskosten der Anlage im direkten Verhältnis zur Anlagengröße stehen. Natürlich haben auch die Art und technische Ausgestaltung der Anlage einen wesentlichen Einfluss auf das notwendige Investitionsvolumen.

Auf Basis dieser Errichtungskostensätze und der technischen Basisauslegung der Anlage⁴⁵ kann man für das Fallbeispiel Graz folgende spezifische Größenordnungen gemäß nachstehender Tabelle 7 annehmen.

Typ	Menge [to/a]	Leistung [MW_{th}]	Investition 2015 [T€]	To-Invest [€ / to]	MW-Invest [T€ / MW]
Rost	90.000	35	rd.100.000	~ 1.100	~ 3.000
Wirbelschicht	100.000	40	rd. 80.000	~ 800	~ 2.000

Tab. 7: Kalkulationskostensätze für die Müllverbrennungsanlage Graz

Zur Vergleichbarkeit der Anlagen ist allerdings bei der Wirbelschichtanlage zu berücksichtigen, dass trotz einer implementierten vorgeschalteten einstufigen Aufbereitungsanlage eine externe Grobaufbereitung sowohl für den Restabfall, als auch für den Sperrmüll erforderlich ist.⁴⁶

⁴⁵ Vgl. F. Neubacher (UVP GmbH); Studie „WAG 2020“ (2014).

⁴⁶ Vgl. Thome´-Kozmiensky (2012); Energie aus Abfall - Band 9, Seite 71.

3.2.3 Infrastruktur

Unter den notwendigen Infrastrukturmaßnahmen werden in diesem Zusammenhang folgende Teilbereiche betrachtet:

- Verkehrs- und Manipulationsflächen
- Zwischenlagerflächen
- Entwässerungen bzw. Kanalanschluss
- Energieversorgung für Strom, Gas
- Einspeisung Netzanschluss für Fernwärme

Die erforderlichen bzw. zur Verfügung stehenden **Verkehrs-** und **Manipulationsflächen** sind aufgrund der großen Unterschiedlichkeit der einzelnen Projekte nicht vergleichbar. Allerdings kann man bei einer Anlagengrößenordnung wie im Fallbeispiel der Stadt Graz davon ausgehen, dass der Flächenbedarf für diesen Bereich ca. 5.000 m² betragen kann. Dabei handelt es sich um befestigte Flächen mit Unterbau, Tragschicht und Asphaltdecke. Auf Basis von veröffentlichten Baupreisen⁴⁷ ergibt sich ein durchschnittlicher Quadratmeterpreis für die Herstellung solcher Flächen von ca. € 60,-/m². Unter Berücksichtigung einer kalkulatorischen Unsicherheit bedeutet das Kosten von rd. € 500.000,- für die notwendigen Verkehrs- und Manipulationsflächen, unter der Annahme ortsüblicher bautechnischer Rahmenbedingungen.

Aufgrund der Annahme der Notwendigkeit eines **Abfallzwischenlagers** im Ausmaß von ca. 6.000 m² zur Überbrückung der saisonal bedingten Lücken zwischen dem Abfallanfall und dem Wärmebedarf, ergibt sich auf oben angeführten Grundlagen ebenfalls ein Investitionsbedarf von ca. € 500.000,-. Sollte aus genehmigungsrechtlichen Gründen auch noch eine seitlich offene Gesamtüberdachung in Form eines Flugdaches für diese Zwischenlagerfläche notwendig werden, so kann sich dieser Betrag verdoppeln oder sogar verdreifachen, je nach vorgeschriebener Ausführung. Grundsätzlich ist aber aus umwelttechnischer Sicht eine Überdachung bei einer ordentlichen Verpackungstechnik und einer einjähri-

⁴⁷ Quelle: URL <http://www.leistungsbuch.de/Frontend/IbuKatalog/KatalogForm.aspx>.

gen Lagerzeit, sowie einer standardgerechten Wassererfassung, nicht unbedingt erforderlich.

Die Errichtung von notwendigen **Entwässerungen** bzw. **Kanalbauarbeiten** hängt natürlich stark von den planerischen Gegebenheiten ab und kann ohne Detailplanung nur wage angenommen werden. Geht man davon aus, dass bei einer solchen Anlage ca. 2.000 bis 3.000 lfm Kanal- bzw. Entwässerungseinrichtungen erforderlich sein könnten, ergibt sich unter zugrundelegung eines Laufmeterpreises⁴⁸ von € 100,- bis € 150,- eine notwendige Investition von ca. € 200.000,- bis € 450.000,-. Etwaig anfallende Anschlussgebühren sind darin nicht enthalten und richten sich nach den ortsbedingten Regelungen.

Für die **Energieversorgung** der Anlage erforderliche technische Einrichtungen und Stromnetzzugänge hängen natürlich sehr stark von den regional vorliegenden Bedingungen ab. Beim Fallbeispiel der Stadt Graz handelt es sich um eine ausschließlich wärmegeführte Anlage ohne Stromproduktion, daher wird nur Betriebsstrom bezogen, aber es ist keine Stromeinspeisung in das Netz erforderlich. Allerdings sind auch dafür iA elektrische Anlagen (z.B. Trafo, Übergabeeinrichtungen, Stromleitungen etc.) notwendig, die je nach Dimension und technischer Gestaltung bis zu € 1,5 Mio. kosten können.⁴⁹ Generell ist aber neben der Stromversorgung auch ein Gasnetzanschluss erforderlich, da für gewisse Betriebszustände (z.B. Anlagenhochfahren) das Befeuern des Kessels mit Erdgas notwendig ist. Beim Vorhandensein der entsprechenden grundstücksnahen Anschlussleitungen betragen die dafür geschätzten anstehenden Kosten ca. € 100.000,-.

Da die **Übergabeeinheiten** für die produzierte **Fernwärme** iA im Aufgabengebiet des Wärmeabnehmers liegen, wird dieser Kosten- bzw. Investitionsblock entsprechend abgegrenzt. Die bis zur Übergabestelle erforderlichen Anlagen und technische Einrichtungen sind in den Gesamtinvestitionen für die MVA (Kapitel 3.2.2) enthalten und werden daher nicht mehr separat aufgeschlüsselt.

⁴⁸ Quelle: URL <http://www.leistungsbuch.de/Frontend/lbuKatalog/KatalogForm.aspx>.

⁴⁹ Quelle: Anlagenspiegel Fa. ENAGES vom 14.3.2012.

3.3 Betriebskostenbetrachtung

Wie in der Einleitung zu Kapitel 3 bereits dargelegt, bestimmen überwiegend die Rahmenbedingungen der Betriebskosten darüber, ob eine Müllverbrennungsanlage wirtschaftlich betrieben werden kann, oder nicht. Besondere Bedeutung haben dabei natürlich die variablen bzw. direktproportionalen Kosten, da praktisch nur diese wirkliche Veränderungs- bzw. Handlungsspielräume zulassen. Für die fixen Kosten bzw. variablen Fixkosten ist generell eine niedrige Ausgestaltung anzustreben, um den zur Deckung notwendigen Anteil in der Vollkostenrechnung so gering wie möglich zu halten und damit einen nicht überproportionalen Einfluss der Fixkosten auf die Preisgestaltung zur Abfallverbrennung und den Wärmeabsatz zu erreichen. Auf diesen Bereich wird hier nur ganz rudimentär eingegangen, da der Fokus dieser Arbeit der Einfluss der variablen Kosten auf die Wirtschaftlichkeit von Müllverbrennungsanlagen ist.

3.3.1 Fixkosten

Grundsätzlich überwiegt aufgrund der hohen Investitionen und der damit verbunden Kostenstruktur bei Müllverbrennungsanlagen der Fixkostenanteil deutlich. Dies resultiert aus der notwendigen Vorhaltung einer für diese Wirtschaftseinheiten typisch hohen Leistungsbereitschaft. Fixkosten bedeutet aber nicht unbedingt, dass diese Kosten auch fest sind, insbesondere bei einem hohen Anteil kommt dem prophylaktischen Fixkostenmanagement eine besondere Bedeutung zu.⁵⁰

Die wesentlichen Fixkosten bei Müllverbrennungsanlagen entstehen aufgrund von

- Grundstücksmieten bzw. Pacht
- Wartungsverträgen für Anlagen, Maschinen und elektronischen sowie elektrotechnischen Steuerungssystemen
- Versicherungen für Gebäude, Maschinen und Anlagen
- Verwaltung und Administration
- Abschreibungen für Investitionen
- Zinsendienste für eingesetztes Kapital

⁵⁰ Vgl. Stelling (2009), Seite 107.

3.3.2 Variable Fixkosten

Diese Art der Gemeinkosten ist zwar der Höhe nach abhängig von der Ausbringungsmenge, lässt sich aber nicht einzelnen Kostenträgern zuordnen.⁵¹

Für Müllverbrennungsanlagen ist das im Speziellen das notwendige Fachpersonal für den Betrieb eines kalorischen Kraftwerkes. Ein ordentlicher Kraftwerksbetrieb setzt eine relativ konstante Stammmannschaft mit notwendigen hohen Qualifikationen und Erfahrungen voraus, dadurch ist eine auftragsabhängige Personalplanung in der Praxis nicht umsetzbar. Daher sind de facto die Personalkosten als auftragsunabhängige kalkulatorische Fixkosten anzusehen und zu berücksichtigen.

Aus der Praxis ergibt sich für den Betrieb einer Müllverbrennungsanlage mit einer Jahreskapazität von ca. 100.000 Tonnen bzw. ca. 40 MW Brennstoffwärmeleistung ein Bedarf von ca. 35 Mitarbeitern. Erforderliches Personal ist im Wesentlichen ist notwendig für

- Anlagensteuerung (Anlagenfahrer, Kranfahrer)
- Abfallübernahme (Waage, Eingangskontrolle, Aufbereitung)
- Instandhaltung (Elektriker, Schlosser)
- Verwaltung (Buchhaltung, Einkauf, Fakturierung, Sekretariat)
- Betriebsführung (Betriebsleitung, Meister, Teamleitung)
- Geschäftsführung (technisch und kaufmännisch)

Da die Anlage 24 Stunden pro Tag betrieben wird, ist entweder ein Dreischicht- oder Fünfschichtbetrieb zur Abdeckung des Wochenendes erforderlich. Das bedeutet entsprechende kollektivvertragliche Zuschläge für die Nacht- und Wochenendarbeit, sowie besondere Berücksichtigung der Ruhezeitbestimmungen und zusätzlich unterliegen diese Tätigkeiten den Regelungen für Schmutz-, Erschwernis- und Gefahrenarbeiten (SEG-Zuschläge). Daher ergeben sich aktuell je nach kollektivvertraglicher Einstufung der Mitarbeiter und deren Altersstruktur Gesamtpersonalkosten von ca. € 2,0 Mio. pro Jahr.⁵²

⁵¹ Vgl. Wöhe (2013), Seite 887.

⁵² Quelle: Energie- und Abfallverwertungs GmbH; detaillierte GuV für 2009 bis 2011.

3.3.3 Variable Kosten

Es handelt sich dabei um den Teil der Gesamtkosten, welche im direkten Zusammenhang mit der Ausbringungsmenge stehen.⁵³

Für Müllverbrennungsanlagen sind das jene direkt zurechenbaren Kosten, die durch die Verbrennung einer Tonne Abfall entstehen, wie

- Instandhaltung
- Rückstandsentsorgung
- Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe
- Energieverbrauch

Unter **Anlageninstandhaltung** versteht man die Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen, die zur Erhaltung des notwendigen funktionsfähigen Anlagenzustandes beitragen.⁵⁴

Zu den Maßnahmen der Instandhaltung gehören:

- Wartung
- Inspektion
- Instandsetzung
- Verbesserung

Die Unterscheidungsmerkmale werden in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.



Abb. 14: Grundmaßnahmen der Instandhaltung

⁵³ Vgl. Wöhe (2013), Seite 299.

⁵⁴ Vgl. Härdler (2012), Seite 194 ff.

Umgelegt auf den Betrieb einer Müllverbrennungsanlage bedeutet das die Einteilung der Instandhaltungstätigkeiten in

- laufende Reparatur-, Verbesserungs- und Reinigungsarbeiten während des Betriebes

oder

- Revisions- und Umbautätigkeiten während eines geplanten Anlagenstillstandes

Zusätzlich unterscheidet man aufgrund der Anlagenkomponenten zwischen Instandhaltung der Bereiche

- mechanische Anlagen (z.B. Fördertechnik, Hydraulik)
- elektrische Anlagen (z.B. Steuerungen, Schaltungen)

und

- Kesselanlagen inklusive dazugehörige Nebenanlagen

Die elektrischen und mechanischen Anlagenteile zeichnen sich aufgrund des Einsatzes von Abfallbrennstoffen durch einen überdurchschnittlichen Verschleiß aus und erfordern daher auch den Einsatz von hoch verschleißfesten Werkstoffen. Im Kesselbereich sind meist die Rohrabzehrungen und die damit verbundenen Verringerungen der Rohrwandstärken das vordringliche Thema bei einer Anlagenrevision. Besonders beeinflusst wird dieser Bereich von den Kesseltemperaturen und den Betriebsdrücken und daher ist auch die Rohrabzehrung bei Sattedampfkesseln wesentlich geringer als bei Heißdampf- bzw. Überdruckkesselanlagen.

Grundsätzlich lassen sich bei der Instandhaltung folgende zwei Strategien verfolgen, einerseits

- die vorbeugende Instandhaltung (Zeitbezug)

und andererseits

- die zustandsbezogen Instandhaltung (Zustandsbezug)

In der Praxis kommt es idR zu einer Hybridlösung dieser beiden Möglichkeiten, abhängig von der Priorität der Anlagenkomponenten und deren Auswirkung auf den Anlagenbetrieb zur Vermeidung von ungeplanten Stillständen.

Üblicherweise geht man von einem jährlichen Bedarf an Wartungs- und Instandhaltungskosten von 3 bis 4 % der Investitionskosten aus.⁵⁵ Die Kostenaufteilung auf die einzelnen Anlagengruppen kann generell wie folgt angenommen werden:

- Feuerung/Dampferzeugung ~ 35 %
- Abgasreinigung ~ 15 %
- Turbine/Generator ~ 5 %
- elektrische Anlagen ~ 7 %
- Bau- und Außenanlagen ~ 10 %
- allgemeine Reinigungsarbeiten ~ 10 %
- diverse Wartungsarbeiten ~ 18 %

Für die Anlage des Fallbeispiels der Stadt Graz würden das jährliche Instandhaltungskosten von ca. € 3 bis € 4 Mio. bedeuten, wobei Zahlen aus der Praxis eher € 3 Mio. bestätigen.⁵⁶ Bei einer Sattedampfkesselanlage zur ausschließlichen Fernwärmeproduktion würden sich aufgrund der Feuerung- bzw. Dampferzeugung, sowie Wegfall der Stromproduktion mittels Turbine bzw. Generators, die notwendigen Instandhaltungskosten nochmals deutlich reduzieren. Daher kann man für eine solche Anlagenkonfiguration mit jährlichen Kosten für die Reparatur- und Instandsetzung von ca. € 2 bis € 2,5 Mio. kalkulieren.

Die nachfolgenden Abbildungen⁵⁷ geben einen Überblick über die Stoffströme von Müllverbrennungsanlagen insbesondere jener der **Rückstände**. Abbildung 15 zeigt alle relevanten Stoffflüsse einer MVA, im Wesentlichen sind das

- Abfall bzw. Brennstoff
- Abluft und gereinigtes Abgas
- Wasser und Abwasser
- Verbrennungsrückstände und Hilfsstoffe

⁵⁵ Vgl. Thome´-Kozmiensky (2008); Energie aus Abfall - Band 4, Seite 357 f.

⁵⁶ Quelle: Energie- und Abfallverwertungs GmbH; detaillierte GuV für 2009 bis 2011.

⁵⁷ Vgl. BMLFUW (2009): Thermische Abfallbehandlung in Österreich – Weißbuch; Seite 52 ff.

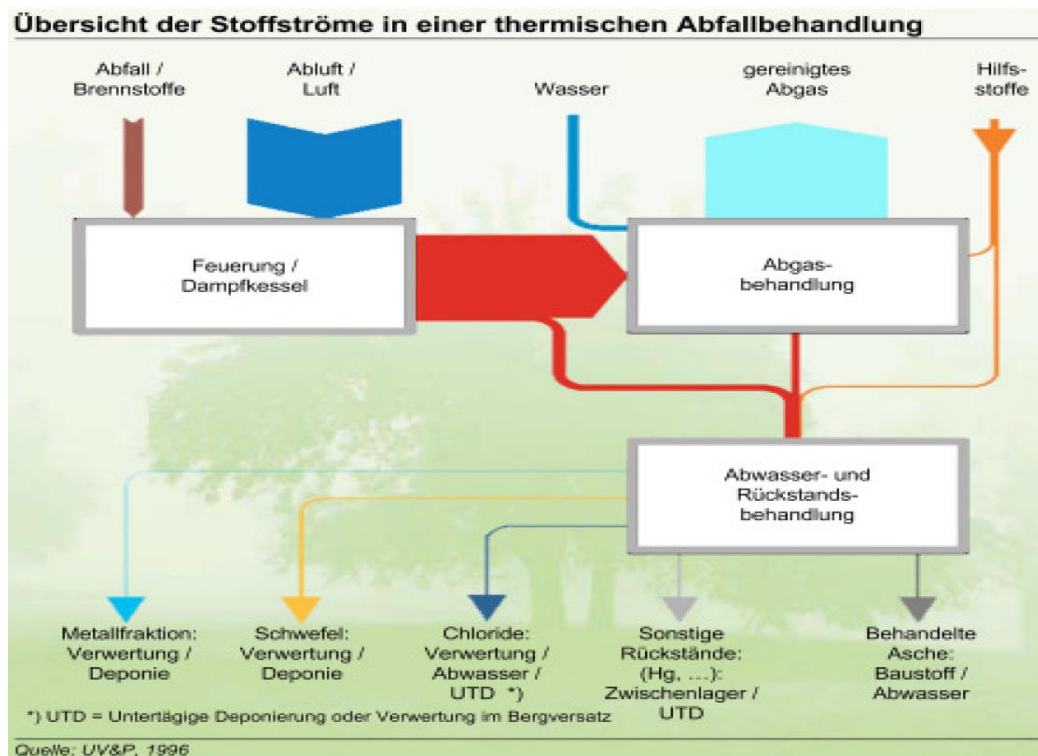


Abb. 15: Übersicht der Stoffströme einer MVA

Die Abbildung 16 zeigt die allgemeine Übersicht der Stoffströme von Verbrennungsrückständen einer Rostfeuerungsanlage.

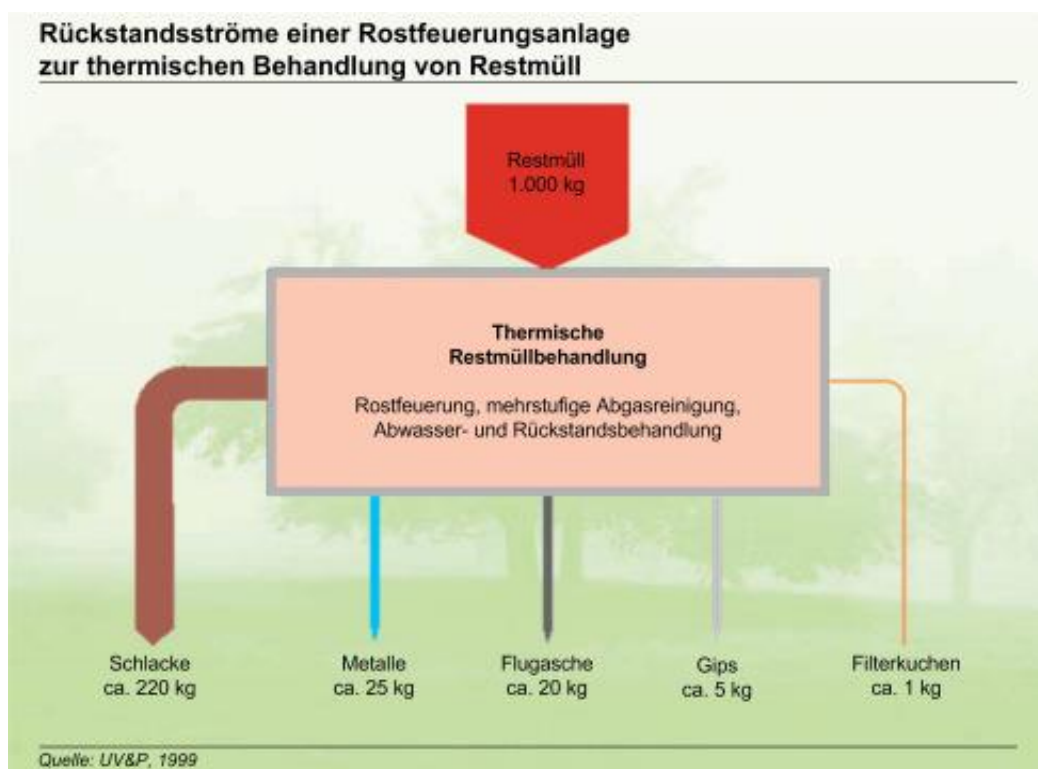


Abb. 16: Stoffstromübersicht von Rückständen einer Rostfeuerungsanlage

Die Abbildungen 17 und 18 zeigen detaillierte Massenströme von Verbrennungsrückständen der Rostfeuerungsanlage Spittelau in Wien (Wien Energie) und der stationären Wirbelschichtkesselanlage in Niklasdorf (ENAGES).

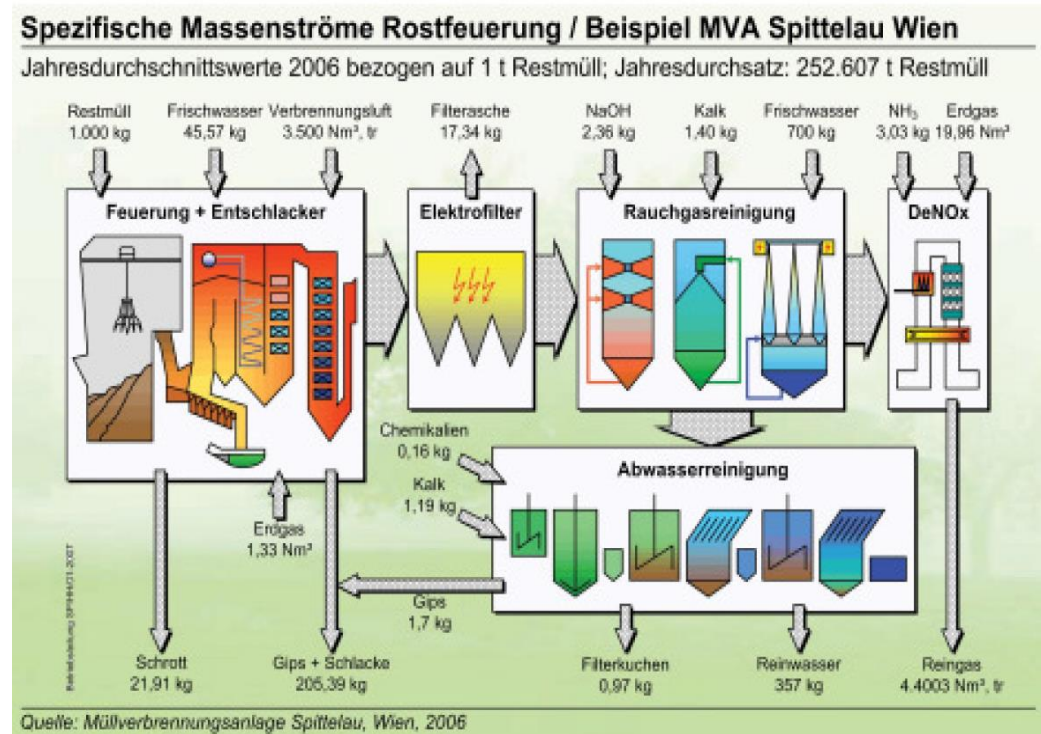


Abb. 17: Massenstrom der Rückstände von der MVA Spittelau

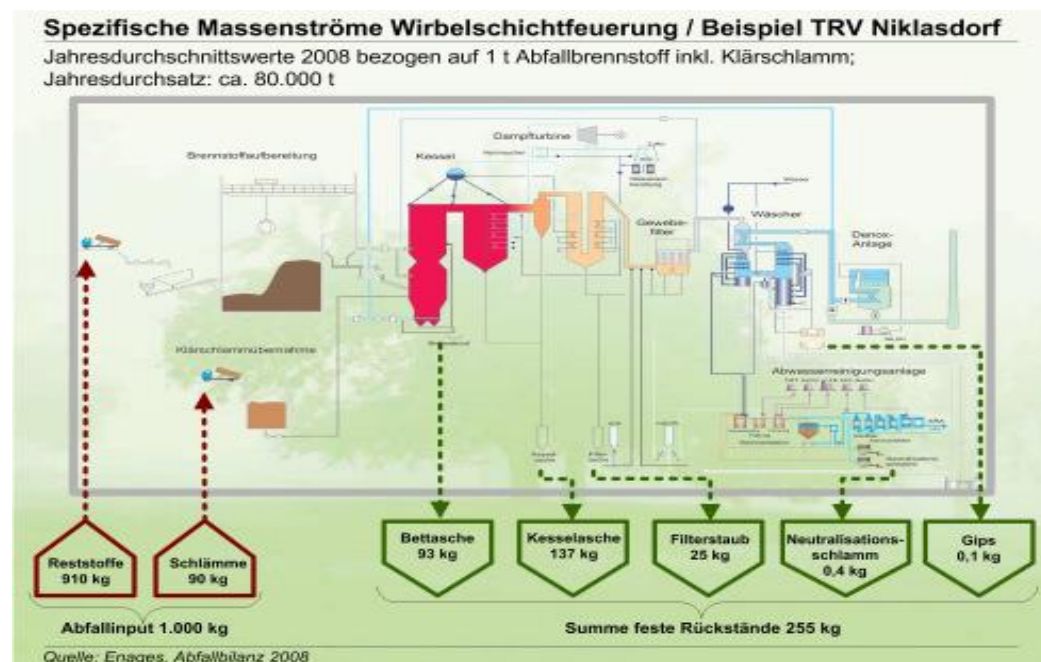


Abb. 18: Massenstrom der Rückstände von der TRV Niklasdorf

Daraus ergeben sich für Rostfeuerungsanlagen folgende Mengenverhältnisse an wirtschaftlich relevanten Verbrennungsrückständen bezogen auf 100 Masse-% des Anlageninputs.⁵⁸

- Schlacke ~ 20 %
- Kesselasche ~ 8 %
- Filterasche ~ 2 %

Für die Wirbelschichtkesselanlagen bedeutet das nachfolgende Massenverhältnisse:

- Bettasche ~ 10 %
- Kesselasche ~ 13 %
- Filterasche ~ 2 %

Für eine eventuelle MVA der Stadt Graz mit einem Abfallinput von rd. 100.000 Jahrestonnen kann daher aus heutiger Sicht mit folgenden Kosten für die Rückstandsentsorgung gerechnet werden:

Rostfeuerung	to p. a	€ p. to ⁵⁹	€ p. Jahr	Behandlung/ Entsorgung
Schlacke	20.000	30,--	600.000	Metallrückgewinnung/ Reststoffdeponie
Kesselasche	8.000	50,--	400.000	Reststoffdeponie
Filterasche	2.000	100,--	200.000	Verfestigung/ Reststoffdeponie
Gesamt	27.000	~ 45,--	1.200.000	

Tab. 8: Entsorgungskosten Rostaschen für MVA Graz

Wirbelschicht	to p. a	€ p. to ⁶⁰	€ p. Jahr	Behandlung/ Entsorgung
Bettasche	10.000	15,--	150.000	Metallrückgewinnung/ Reststoffdeponie
Kesselasche	13.000	50,--	650.000	Reststoffdeponie
Filterasche	2.000	100,--	200.000	Verfestigung/ Reststoffdeponie
Gesamt	25.000	~ 40,--	1.000.000	

Tab. 9: Entsorgungskosten Wirbelschichtaschen für MVA Graz

⁵⁸ Vgl. Thome´-Kozmiensky (2013); Aschen.Schlacken.Stäube, Seite 33.

⁵⁹ Quelle: Fa. Zöchling Abfallverwertungs GmbH in AT 3170 Hainfeld.

⁶⁰ Quelle: Fa. Zöchling Abfallverwertungs GmbH in AT 3170 Hainfeld.

Die angeführten Preise gelten abgeholt ab MVA und sind abhängig von den zeitlich gültigen Vergütungspreisen für die Metallfraktionen, sowie deren Entfernung zur entsprechenden Verwertungs- bzw. Aufbereitungsanlage. Außerdem sind derzeit diese Abfallströme gem. § 3 Abs. 10 des ALSAG beitragsfrei⁶¹, andernfalls wären entsprechende Abgaben den Preisen hinzuzurechnen.

Nachfolgende Abbildungen⁶² zeigen realistische Annahmen für Metallgehalte aus Rostschlacken und deren Zusammensetzung nach einer erfolgten Schlackenaufbereitung.

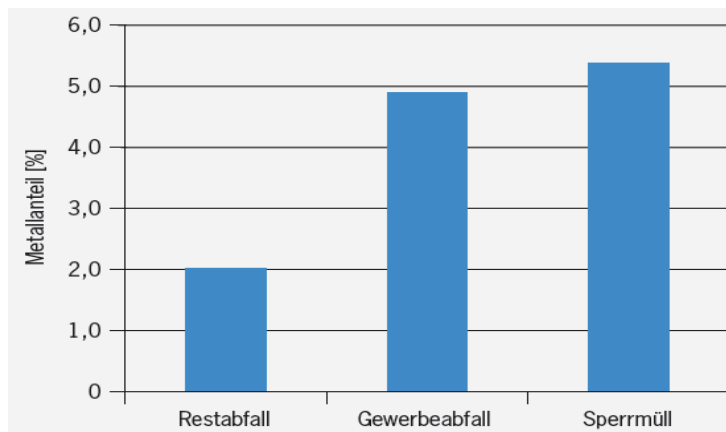


Abb. 19: Metallgehalte in Rostschlacken

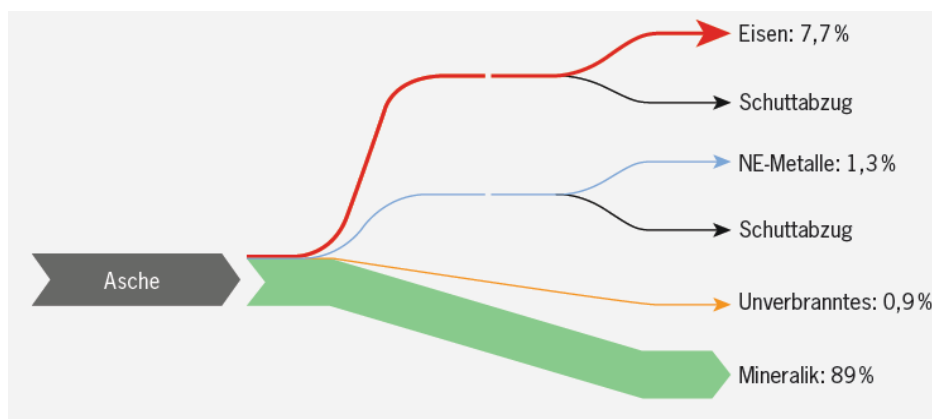


Abb. 20: Zusammensetzung von Rostschlacken

⁶¹ Vgl. Kodex für Abfallrecht 2015, Seite 859.

⁶² Vgl. Enzer et al. in Müll und Abfall, Ausgabe 5.2016, Seite 258.

Der **Energieverbrauch** setzt sich im Wesentlichen aus dem Bedarf für elektrischen Strom und Erdgas zusammen.

Die elektrische Energie wird überwiegend für den Betrieb von Pumpen, Gebläsen, Mischern etc. und bei einer Wirbelschichtanlage zusätzlich eventuell für die Zerkleinerungs-, sowie Sieb- bzw. Sichtungsaggregate für die Abfallaufbereitungsanlage verbraucht. Daher ist der Stromverbrauch bei einer Rostfeuerungsanlage im Vergleich zu einer Wirbelschichtanlage etwas geringer. Da aber die Stromkosten im Verhältnis zu den anderen Betriebskosten eine untergeordnete Bedeutung besitzen, wird sowohl für die Rostfeuerungsanlage als auch für den Wirbelschichtofen ein Jahresverbrauch von ca. 1.000 MWh angenommen, woraus sich aktuelle Gesamtstromkosten inkl. Netznutzung in der Höhe von € 150.000,- ergeben.

Für Anfahr- und Aufheizbetriebe ist idR Erdgas als Brennstoff erforderlich, wobei auch hier der Bedarf bei einer MVA für Graz als ungeordnet einzustufen ist, vorausgesetzt es gibt keine Notwendigkeit einer Ersatzvornahme zur Wärmelieferung mittels Hilfsgaskesseln bei etwaigen Stillständen. Unter Berücksichtigung dieser Annahmen kann man auch für diesen Bereich auf Basis derzeit gültiger Gaspreise mit Gesamtkosten von € 150.000,- rechnen.

Somit ergeben sich für den Energiebereich jährliche Gesamtkosten von ca. € 300.000,- für eine entsprechende MVA.

Der Einsatz von **Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen** wird überwiegend durch den Betrieb der Rauchgas- und Abwasserreinigungsanlagen erforderlich. Im Wesentlichen sind das Kalk, Natronlauge, Koks und ev. sonstige Absorptionsmittel für die Rauchgasreinigung, sowie Polymere, sonstige Fällungsmittel und diverse Chemikalien zur Abwasserreinigung. Je nach Ausführung der Rauchgasreinigung (z.B. trocken oder nass) und den damit verbundenen notwendigen Betriebsstoffen kann man aktuell für eine MVA der Stadt Graz mit jährlichen Gesamtkosten von € 500.000,- kalkulieren.⁶³

⁶³ Quelle: Energie- und Abfallverwertungs GmbH; detaillierte GuV für 2009 bis 2011.

4 Systemkennzahlen und Erfolgsbetrachtung

Damit Kennzahlen ihre vordringlichen Aufgaben von⁶⁴

- relativ einfache Darlegungen von komplizierten Prozessen
- umfassende und schnelle Überblicksdarstellungen
- Instrumente zur betriebswirtschaftlichen Analysen
- Skills für Unternehmenssteuerung

erfüllen können, sind nachfolgende Anforderungen an diese zu stellen.

- verlässliche Darstellung der Sachverhalte → Validität
- zeitnahe Verfügbarkeit → Aktualität
- Aufbau auf vorhandenen Daten → Basics
- Vergleichbarkeit → Benchmarking

Die kumulative Umsetzung in der Praxis dieser Anforderungen wird am Beispiel der Gesamtrentabilität nach Abbildung 22 wie folgt dargestellt.

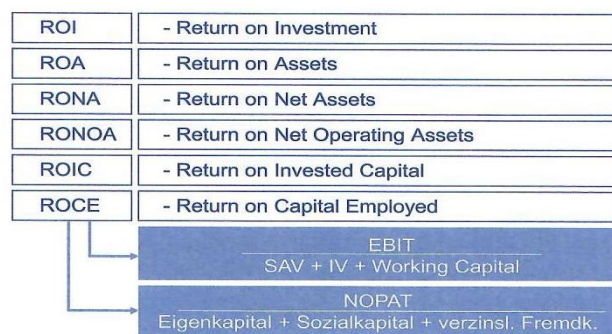


Abb. 21: Praxisumsetzung von Kennzahlen am Beispiel Gesamtrentabilität

Durch die Verdichtung von Informationen mit Hilfe von Kennzahlen können komplexe Sachverhalte relativ einfach gemessen und exakt dargestellt werden. Dies stellt insbesondere für die Unternehmensführung ein erforderliches Instrument und einen wesentlichen Vorteil von Kennzahlensystemen dar. Allerdings lassen sich qualitative Zusammenhänge von unstrukturierten Daten nur schwer messen und daher haben Kennzahlen aufgrund ihrer isolierten Betrachtung inklusive möglicher Informationsverluste eine nur eingeschränkte Aussagekraft.

⁶⁴ Vgl. Losbichler et al. (2015); Seite 1 ff.

4.1 Betriebstechnische Kennzahlen

Der technische Betrieb einer MVA beinhaltet eine Vielzahl an Einflussfaktoren für den anlagenwirtschaftlichen Erfolg. Allerdings haben nur einige wenige Faktoren eine hohe Relevanz und damit eine essentielle Auswirkung und entscheiden daher überproportional über Erfolg oder Misserfolg einer solchen Kraftwerksanlage. Das sind

- der Anlagendurchsatz
 - die Anlagenverfügbarkeit
- und
- einige Betriebskostensätze

Über den Anlagendurchsatz wird im Wesentlichen die Erlössituation mitbestimmt, da je höher der Durchsatz desto höher sind die Einnahmen aus der Abfallentsorgung und desto höher ist der absetzbare Energie-Output.

Die Anlagenverfügbarkeit hat natürlich auch Auswirkungen auf die Kosten, da je höher die Verfügbarkeit der Anlage desto niedriger sind die Instandhaltungsaufwendungen.

Zu den relevanten Kostensätzen aus dem Anlagenbetrieb (siehe dazu auch Kapitel 3.3.3) zählen

- Betriebsmittelverbrauch
 - Entsorgung Asche, Schlacke, Filterkuchen, Gips
 - Instandhaltungsaufwendungen
- und
- Energieverbrauch

Aus diesen einzelnen Kostenfaktoren werden auf Basis einer oder mehrerer messbaren Anlagenquotienten (z.B. Abfalldurchsatz [to], Energieproduktion [MWh] etc.) Kennzahlen ermittelt um damit eine Vergleichbarkeit bzw. Benchmarking, sowohl im Innenverhältnis für z.B. Planungen, aber auch mit anderen Anlagen zu erhalten, woraus sich Optimierungspotentiale erkennen und ausschöpfen lassen. Wesentlich dabei und allgemein eine schwierige Aufgabe ist die dafür notwendige Definition eindeutig vergleichbare Rahmenbedingungen bzw. Schnittstellen.

4.1.1 Anlagendurchsatz und Energieoutput

Der Anlagendurchsatz bei Müllverbrennungsanlagen beschreibt die durch die Ofenanlage durchgesetzte Menge an Abfall bezogen auf Tonnen pro Stunde bzw. Gesamtmenge pro Jahr. Da idR für die Verbrennung von Abfall ein Tonnenpreis von den Anlieferern bzw. den Kunden zu bezahlen ist, hat der Anlagendurchsatz einen direkten Einfluss auf die Erlössituation, sowohl aus dem Abfall-, als auch für den Energiebereich. Daher ist es wesentlich die Durchsatzleistung an Abfall pro Stunde auf ein Optimum der technischen Möglichkeiten zu steigern. Der Energieoutput ist von dem im Abfall verfügbaren Energieinhalt und dem Wirkungsgrad der Kesselanlage inkl. Nebenanlagen abhängig. Allerdings gibt es für verschiedene Anlagentypen und Anlagenkonzepte unterschiedliche optimale Heizwerte des eingesetzten Abfallbrennstoffes. Auch die thermischen sowie energetischen Wirkungsgrade sind von der Ausgestaltung der Anlagenkonzepte abhängig. Generell kann man davon ausgehen, dass der Heizwert von Hausmüll aus der getrennten Abfallsammlung zwischen 8 bis 11 MJ/kg beträgt. Nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über Heizwertbereiche von wesentlichen Abfallgruppen.⁶⁵

Abfallarten	Heizwert [kJ/kg]
Restmüll (feucht)	8.000 bis 11.000
Leichtfraktion aus der mechanischen Restabfallaufbereitung	16.000 bis 18.000
Altreifen	29.500
Klärschlamm ausgefault (bezogen auf Trockensubstanz)	11.000
Klärschlamm nicht ausgefault (bezogen auf Trockensubstanz)	17.000

Tab. 10: Beispiele von Abfallheizwerten

Die Energieeffizienz von Hausmüllverbrennungsanlagen wird gem. der Abfallrahmenrichtlinie definiert und dadurch ist es auch möglich MVAs diesbezüglich zu vergleichen und daraus entsprechende Rückschlüsse zu ziehen. Moderne Anlagen erreichen hier teilweise Werte um die 90 %, wobei ältere Anlagen zumindest 60 % vorweisen müssen.

⁶⁵ Vgl. Abfall- und Stoffflusswirtschaft Land Steiermark: Brennwert / Heizwert
URL: <http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/10009935/4336040/> (17.7.2016).

Das bedeutet für eine Hausmüllverbrennungsanlage der Stadt Graz mit einer ausgelegten Abfalljahresdurchsatzkapazität von rd. 100.000 Tonnen bzw. einer Brennstoffwärmeleitung von rd. 40 MW bei angenommenen Jahresbetriebsstunden von rd. 6.500 Volllaststunden eine Anlagendurchsatzleistung von rd. 15 to/Std. Sollten sich die Jahresbetriebsstunden aufgrund verminderter Anlagenbetriebszeiten (z.B. saisonelbedingte geringe Wärmeabnahme und daher Zwischenlagerung des Abfalls) entsprechend auf 5.500 Volllaststunden reduzieren, so erhöht sich dadurch der notwendige Anlagendurchsatz auf rd. 18 to/Std.

Bei einem theoretischen durchschnittlichen Abfallheizwert von 10 MJ/kg und unter Berücksichtigung der notwendigen Verdampfungswärme aufgrund der Feuchte des eingebrachten Abfalls, ergibt sich bei einem angenommenen thermischen Wirkungsgrad von rd. 80 % eine Wärmeproduktion von ca. 200 GWh pro Betriebsjahr. Das wiederum bedeutet, dass sich aus einer Tonne verbrannten Hausmüll ca. 2 MWh Wärme generieren lassen.

Zusammengefasst für eine MVA der Stadt Graz ergeben sich daher folgende Kennzahlen bzgl. Anlagendurchsatz und Energieoutput:

<u>Anlagendurchsatz:</u> rd. 15 to / Std. bei ca. 6.500 Volllaststunden / Jahr rd. 18 to / Std. bei ca. 5.500 Volllaststunden / Jahr

<u>Energieoutput:</u> ca. 2 MWh_{therm.} / to_{Abfall}

Die oben angeführten Betriebskennzahlen hängen wesentlich von der Abfallqualität, insbesondere der brennbareren Anteile (Heizwert und Aschegehalt), sowie vom Feuchtegehalt ab. Zusätzlich ist die Art und Ausgestaltung der Müllverbrennungsanlage, sowie deren Betriebsweise und Energiemanagement ganz entscheidend für den Wirkungsgrad bzw. den Energienutzungsgrad einer solchen Anlage. Dies wiederum hat direkten Einfluss auf die Anlagenverfügbarkeit bzw. den zu erreichenden Anlagenreizeiten zwischen zwei Anlagenstillständen.

4.1.2 Anlagenverfügbarkeit und Reisezeit

Die technische Verfügbarkeit einer Anlage ist bestimmt durch das arithmetische Ergebnis aus theoretisch möglicher Gesamtzeit (z.B. Jahresstunden) abzüglich der aufgetretenen Ausfallszeiten innerhalb einer Beobachtungsperiode (z.B. Jahr) im Verhältnis zur theoretischen Gesamtzeit. Daraus ergibt sich die Kennzahl der Anlagenverfügbarkeit wie folgt:

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{\text{Gesamtzeit} - \text{Ausfallzeit}}{\text{Gesamtzeit}}$$

Die Anlagenverfügbarkeit bei MVAs wird grundsätzlich auf die in einer Betriebsperiode – meist ein Kalender- oder Wirtschaftsjahr – geleisteten Betriebsstunden bezogen. Dabei ist auch noch die Differenzierung von Voll- und Teillaststunden notwendig, wobei in den allgemeinen Statistiken generell die Teillaststunden auf Volllaststunden umgelegt werden um eine Vergleichbarkeit mit anderen Anlagen bzw. die Verfügbarkeitsentwicklung der Anlagen durchführen zu können.

Grundsätzlich sind solche kalorischen Kraftwerksanlagen ganzjährig rund um die Uhr im Betrieb, außer es ist durch geplante Revisionsstillstände oder ungeplante Schadensstillstände ein Abfahren der Anlagen („shut down“) notwendig. Das heißt, theoretisch sind 8.760 Jahresbetriebsstunden erreichbar, allerdings benötigen Müllverbrennungsanlagen jährlich einen längeren Revisionsstillstand und ein bis zwei Inspektions- und Reinigungsstillstände pro Jahr. Das bedeutet für die Praxis, einen Anlagenbetrieb zwischen 7.000 und maximal 8.000 Volllaststunden im Jahr, was einer Anlagenverfügbarkeit von rd. 80 % bis 90 % entspricht. Das ist im Vergleich zu klassischen kalorischen Kraftwerken ein eher niedriger Wert, da solche Anlagen Verfügbarkeiten von 95 % bis 98 % aufweisen. Daraus wird aber auch ersichtlich, dass der „Regelbrennstoff“ Abfall einen hohen Verschleiß für die Gesamtanlage bedeutet. Das wiederum hat zur Folge, dass die Erlössituation durch die Anlagenverfügbarkeit unmittelbar beeinflusst wird und bei niedriger Anlagenverfügbarkeit ein erhöhter Reparatur- bzw. Instandhaltungsbedarf besteht, wodurch die betrieblichen Aufwendungen entsprechend steigen und die Ergebnisse sinken.

Die Zeit zwischen zwei Anlagenstillständen wird als Reisezeit bezeichnet, wobei der Anlagenbetreiber bestrebt ist diese so lange wie möglich zu erhalten, da dies einen unmittelbaren Einfluss auf die Gesamtverfügbarkeit und somit auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage hat.

Für eine Anlage der Stadt Graz bedeutet das unter Berücksichtigung von ca. 6.500 Jahresbetriebsstunden aufgrund des geplanten Anlagenstillstandes in der Sommerzeit, eine Anlagenverfügbarkeit von ca. 75 %. Damit sollte aber auch eine unterbrechungsfreie Reisezeit pro Jahr möglich sein, da sämtliche Instandhaltungs- und Umbaumaßnahmen im drei- bis viermonatigen Anlagenstillstand zu bewerkstelligen sind.

4.1.3 Betriebskostensätze

Die Betriebskostensätze ermöglichen einen guten Überblick über die Anlagenperformance im Vergleich zu vorangegangenen Perioden oder auch mit anderen baugleichen Anlagen und sind damit ein wesentliches operatives Controlling- und Steuerungselement.⁶⁶

Für Müllverbrennungsanlagen sind die Betriebskennzahlen auf Basis der anfallenden Verbrennungsrückstände, insbesondere den Schlacken und Aschen, bezogen auf die verbrannte Menge an Abfall. Damit kann man einerseits den nichtbrennbaren Anteil des Anlageninputs und andererseits auch das Ausbrennverhalten der Anlage, sowie deren Kosteneinfluss auf die Betriebswirtschaftlichkeit, beurteilen. Eine ebenfalls wesentliche Betriebskennzahl für eine MVA stellt der Betriebsmittelverbrauch pro durchgesetzte Abfallmenge dar. Damit können die spezifischen Kosten für diesen Bereich ermittelt werden und bilden eine wesentliche Grundlage für die Preiskalkulation zur Abfallübernahme („gate fee“). In diesem Zusammenhang ist auch der Aufwand der Anlageninstandhaltung bezüglich der verbrannten jährlichen Abfallmenge bzw. pro Betrachtungsperiode von Bedeutung. Dieser Kostensatz eignet sich auch gut zur internen Vergleichbarkeit der Anlagenentwicklung und zusätzlich als Planungsinstrument für die Budgetierung.

⁶⁶ Vgl. Härdler (2012), Seiten 248, 549.

Daher ergeben sich entsprechend relevante Betriebskostensätze wie folgt:

$$\text{Asche-/Schlackenkosten} = \frac{\text{Kosten für Entsorgung von Schlacken u. Aschen [€]}}{\text{verbrannte Menge Abfall [to]}}$$

$$\text{Betriebsmittelkosten} = \frac{\text{Kosten für Betriebsmittel [€]}}{\text{verbrannte Menge Abfall [to]}}$$

$$\text{Instandhaltungskosten} = \frac{\text{Kosten für Reparaturen und Instandhaltung [€]}}{\text{verbrannte Menge Abfall [to]}}$$

Für die Anlage der Stadt Graz ergeben sich daraus folgende kalkulatorische Kostensätze für die **Rostanlage**:

$$\text{Asche-/Schlackenkosten} = \frac{\sim 1.200.000 \text{ [€]}}{100.000 \text{ [to]}} = \sim \mathbf{12 \text{ €/to}}$$

$$\text{Betriebsmittelkosten} = \frac{\sim 500.000 \text{ [€]}}{100.000 \text{ [to]}} = \sim \mathbf{5 \text{ €/to}}$$

$$\text{Instandhaltungskosten} = \frac{\sim 2.500.000 \text{ [€]}}{100.000 \text{ [to]}} = \sim \mathbf{25 \text{ €/to}}$$

Bei einer entsprechenden **Wirbelschichtanlage** für die Stadt Graz ergeben sich folgende kalkulatorische Kostensätze:

$$\text{Asche-/Schlackenkosten} = \frac{\sim 1.000.000 \text{ [€]}}{100.000 \text{ [to]}} = \sim \mathbf{10 \text{ €/to}}$$

$$\text{Betriebsmittelkosten} = \frac{\sim 500.000 \text{ [€]}}{100.000 \text{ [to]}} = \sim \mathbf{5 \text{ €/to}}$$

$$\text{Instandhaltungskosten} = \frac{\sim 2.000.000 \text{ [€]}}{100.000 \text{ [to]}} = \sim \mathbf{20 \text{ €/to}}$$

Daraus ergibt sich vordergründig für diesen Bereich ein geringfügiger Vorteil für die Wirbelschichtofenanlage, allerdings ist hierbei der erhöhte Aufwand für die Brennstoffvorbereitung nicht mitberücksichtigt.

4.2 Betriebswirtschaftliche Kennzahlen

In diesem Kapitel werden anhand der Grundlagen nach Kapitel 2.3 beispielhaft interessante Kennzahlen für Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Rentabilität für die zwei relevanten Anlagentypen – Rostfeuerungsanlage und Wirbelschichtofen – ermittelt. Im Allgemeinen wird je nach Bedarfsfall eine Mehrzahl an unterschiedlichen Betriebskennzahlen definiert und im betrieblichen Standard-Reporting abgebildet.

4.2.1 Ermittlung einer Produktivitätskennzahl

Wie bereits in 4.1.1 dargelegt, ist für eine MVA ein wesentlicher Parameter die Energieausbeute, welche sich mittels der Produktivitätskennzahl beschreiben lässt und diese kann beispielsweise lauten:

$$\text{Produktivität}_{MVA} = \frac{\text{produzierte Wärmemenge (MWh)}}{\text{eingesetzter BRAM-Menge (to)}}$$

Daher wird die Produktivität auch als technische Wirtschaftlichkeit bezeichnet.⁶⁷

Für eine Anlage der Stadt Graz ergibt sich daraus folgende Produktivitätskennzahl:

$$\text{Energie-Produktivität}_{MVA\text{ Graz}} = \frac{200.000 \text{ [MWh]}}{100.000 \text{ [to]}} = 2,0 \text{ MWh/to}$$

Der Unterschied zwischen Rost- und Wirbelschichtanlage wird hier nicht berücksichtigt, obwohl aufgrund der Anlagentechnologie und der damit verbundenen Stöchiometrie die Wirbelschichtanlagen diesbezüglich doch ein wenig im Vorteil sind.

⁶⁷ Vgl. Härdler (2012), Seite 31.

4.2.2 Ermittlung von Wirtschaftlichkeitskennzahlen

Die Wirtschaftlichkeit einer Müllverbrennungsanlage wird, wie bereits in vorangegangenen Kapiteln erläutert durch die Erlöse aus der Abfallübernahme und durch die Energieerlös bestimmt.

Um die Effizienz bzw. Effektivität⁶⁸ einer Anlage zu bestimmen, werden beispielsweise folgende Kennzahlen generiert:

$$\text{Wirtschaftlichkeit}_{MVA} = \frac{\text{Erlöse aus produzierter Wärme (€)}}{\text{Instandhaltungskosten (€)}}$$

$$\text{Wirtschaftlichkeit}_{MVA} = \frac{\text{Erlöse aus Abfallentsorgung (€)}}{\text{Schlacken/Ascheentsorgung (€)}}$$

Bezüglich der Erlöse aus der produzierten Wärme kann man im Vergleich der Erzeugungskosten aus anderen Anlagen von einem Wärmeabsatzpreis zwischen € 30,- bis € 35,- pro MWh ausgehen.⁶⁹ Das bedeutet bei einer Jahresproduktion von 200.000 MWh einen Energieerlös von ca. € 6 bis € 7 Mio. Da die Anlagen wärmeorientiert geführt werden, sind die Erlöse aus eventueller Stromproduktion vernachlässigbar bzw. bleiben in der Betrachtung unberücksichtigt.

Für die Übernahmepreise der Abfallentsorgung kann man aufgrund einer durchgeführten Markterhebung im Jahr 2016 folgende Preise zur Kalkulation heranziehen.⁷⁰

Abfallarten	Rostanlage [€/to]	Wirbelschicht [€/to]
Restmüll	80,- bis 90,-	60,- bis 70,-
Sperrmüll	100,- bis 120,-	60,- bis 70,-
Klärschlamm	40,- bis 60,-	40,- bis 60,-

Tab. 11: Abfallpreise 2016

⁶⁸ Vgl. Härdler (2012), Seite 33.

⁶⁹ Quelle: Energie Steiermark Wärme GmbH; 2016.

⁷⁰ Quelle: interne Marktrecherche 2016.

Die Nettopreisangaben verstehen sich angeliefert zur MVA, ohne Gebühren, Abgaben (z.B. ALSAG), sowie Steuern und für den Wirbelschichtofen entsprechend voraufbereitet. Der für diese Abfallvoraufbereitung erforderlicher monetärer Aufwand kann für Hausmüll mit ca. € 20,- bis € 25,- pro Tonne bewertet werden und jener für Sperrmüll mit bis zu € 50,- je Tonne.⁷¹

Daraus ergeben sich auf Basis des Mengengefüges gemäß Kapitel 3.1.3 nach Tabelle 2 folgende jährliche Abfallerlöse:

- Rostanlage ~ 7,0 bis 7,5 Mio. €
- Wirbelschicht ~ 5,5 bis 6,0 Mio. €

Generell kann eine jährliche Preisindexierung nach dem Verbraucherpreisindex (VPI) erfolgen, allerdings sind Bagatellgrenzen von bis zu 2 % marktüblich.

Unter Berücksichtigung der Energie- bzw. Wärmeerlöse ergibt sich folgende Erlösgesamtsituation:

- Rostanlage ~ 13,0 bis 14,5 Mio. €
- Wirbelschicht ~ 11,5 bis 13,0 Mio. €

Im Zusammenhang mit dem Fallbeispiel der Stadt Graz ergeben sich daher folgende dimensionslose Wirtschaftlichkeits-Kennzahlen:

Für die **Rostfeuerungsanlage**:

$$\text{Energie-Wirtschaftlichkeit}_{\text{Rost}} = \frac{6.000.000 \text{ [€]}}{2.500.000 \text{ [€]}} = 2,4$$

$$\text{Schlacke/Asche-Wirtschaftlichkeit}_{\text{Rost}} = \frac{7.000.000 \text{ [€]}}{1.200.000 \text{ [€]}} = 5,8$$

Für die **Wirbelschichtanlage**:

$$\text{Energie-Wirtschaftlichkeit}_{\text{WSO}} = \frac{6.000.000 \text{ [€]}}{2.000.000 \text{ [€]}} = 3,0$$

$$\text{Schlacke/Asche-Wirtschaftlichkeit}_{\text{WSO}} = \frac{5.500.000 \text{ [€]}}{1.000.000 \text{ [€]}} = 5,5$$

⁷¹ Quelle: interne Marktrecherche 2016; Fa. Anton Mayer in A-8770 St. Michael.

Daraus lässt sich für den Bereich der Energie wiederum ein kleiner Vorteil für die Wirbelschichtanlage erkennen. Für den Bereich der Schlacke/Asche-Entsorgung ergibt sich ein Vorteil für die Rostanlage aufgrund der höheren Abfallerlöse, da die Wirbelschichtanlagen idR bereits zumindest einmal vorkonfektionierte Abfallbrennstoff übernehmen und sich daher aufwandsbedingt ein Mindererlös im Vergleich zu Rostanlagen niederschlägt.

4.2.3 Ermittlung von Rentabilitätskennzahlen

Die in diesem Zusammenhang für den Investor wesentlichste Kennzahl ist die Eigenkapitalrentabilität.

Diese ist im Allgemeinen wie folgt definiert:⁷²

$$\text{Eigenkapitalrentabilität}_{MVA} = \frac{\text{Gewinn (€)}}{\text{Eigenkapital (€)}} * 100\%$$

Aber natürlich auch die Gesamrentabilität ist für ein solches Projekt von großer Bedeutung und diese lautet:

$$\text{Gesamtkapitalrentabilität}_{MVA} = \frac{\text{Gewinn} + \text{Fremdkapitalzinsen (€)}}{\text{Gesamtkapital (€)}} * 100\%$$

Auf Basis des errechneten operativen Gewinnes (EBIT) von € 1,0 Mio. gemäß Kapiteln 4.3.1 für die Rostanlage bzw. € 1,2 Mio. für die Wirbelschichtanlage gemäß 4.3.2, sowie einem angenommen Eigenkapitaleinsatz von 25 % der Gesamtinvestition zur Vermeidung eines negativen Leverage-Effektes⁷³ bzw. Leverage-Risk⁷⁴ und einer über die Laufzeit durchschnittliche kalkulatorische Verzinsung⁷⁵ von 5 % ergeben sich für die MVA der Stadt Graz nachfolgende Rentabilitätskennzahlen.

⁷² Vgl. Losbichler et al. (2015); Seite 46 f.

⁷³ Vgl. Geyer et al. (2015); Seite 269 f.

⁷⁴ Vgl. Wöhe (2013), Seite 613 f.

⁷⁵ Anm.: es kann auch der interne WACC als Verzinsungsquote für Fremd- und Eigenkapital herangezogen werden.

$$\text{Eigenkapital-Rentabilität}_{\text{Rost}} = \frac{1.000 [\text{T€}]}{25.000 [\text{T€}]} * 100\% = \mathbf{4,0\%}$$

$$\text{Eigenkapital-Rentabilität}_{\text{WSO}} = \frac{1.200 [\text{T€}]}{20.000 [\text{T€}]} * 100\% = \mathbf{6,0\%}$$

$$\text{Gesamtkapitalrentabilität}_{\text{Rost}} = \frac{1.000 + 1.900 [\text{T€}]}{100.000 [\text{T€}]} * 100\% = \mathbf{2,9\%}$$

$$\text{Gesamtkapitalrentabilität}_{\text{WSO}} = \frac{1.200 + 1.500 [\text{T€}]}{80.000 [\text{T€}]} * 100\% = \mathbf{3,3\%}$$

Zur Vereinfachung der Berechnung der kalkulatorischen Zinsen wurden gleichbleibende Anschaffungskosten unterstellt und daher als Vorsichtsmaßnahme keine Liquidationserlöse angesetzt.

4.3 Bewertung der Praxisrelevanz

Es wird in den nachfolgenden beiden Unterkapiteln auf Basis der Gewinn- und Verlustrechnung (GuV) gemäß § 231 UGB mittels Anwendung des Gesamtkostenverfahrens eine einfache bzw. gekürzte statische Erfolgsrechnung anhand des Fallbeispiels der Stadt Graz, sowohl für die Ausgestaltungsvariante als Rostfeuerungs-, als auch Wirbelschichtanlage, dargestellt. Sämtliche Daten und Fakten entstammen den vorherigen Kapiteln, wobei die Umsatzerlöse für die Abfallübernahme („gate fee“) auf entsprechenden Marktrecherchen bzw. Befragungen fundieren. Die Abschreibung wird über die kalkulatorische AfA errechnet.⁷⁶ Die Berechnung erfolgt unter einem konservativen Ansatz und entspricht damit einem Realzenario bzw. „most likley case“.

Die Darstellung der GuV endet hierbei mit dem Betriebsergebnis (EBIT), da dieses für die Vergleichbarkeit der beiden Fallszenarien ausreichend ist und nachgestellte Positionen bzw. Betrachtungen, wie zum Beispiel das EGT, diesbezüglich keine zusätzliche Aussagerelevanz mehr leisten.

⁷⁶ Vgl. Stelling (2009), Seite 30.

Eine dynamische Erfolgsbetrachtung unter Anwendung allgemein gültiger betriebswirtschaftlicher Methoden, sowie Berücksichtigung einzelner projektspezifischer und auftragsbezogener Berechnungskriterien wurde aus Umfangsgründen nicht durchgeführt, aber ist ein wesentlicher Beitrag zur Entscheidungsfindung und sollte daher in jedem Fall erfolgen.

4.3.1 Erfolgsrechnung Rostfeuerungsanlage

Nachfolgend wird die verkürzte Gliederungsdarstellung der GuV für das Fallbeispiel der MVA Graz als Rostfeuerungsanlage dargestellt.

	[T€]
Umsatzerlöse	13.000
<i>Abfallentsorgung⁷⁷</i>	7.000
<i>Wärmeabsatz⁷⁸</i>	6.000
Material und bezogene Leistungen	2.000
<i>Betriebsmittel⁷⁹</i>	500
<i>Energie⁸⁰</i>	300
<i>Schlacke- und Ascheentsorgung⁸¹</i>	1.200
Personalaufwand⁸²	2.000
Abschreibung⁸³	5.000
sonstige betriebliche Aufwendungen	3.000
<i>Instandhaltung⁸⁴</i>	2.500
<i>Miet- und Pachtaufwand⁸⁵</i>	150
<i>Versicherungen⁸⁶</i>	200
<i>Unvorhergesehenes</i>	150
BETRIEBSERGEBNIS [EBIT]	1.000

Tab. 12: GuV Rostfeuerungsanlage

⁷⁷ Quelle: Daten aus Marktbefragungen 2016; ASA, EVN, KRV, Wien Energie.

⁷⁸ Vgl. Kapitel 4.2.2.

⁷⁹ Vgl. Kapitel 3.3.3.

⁸⁰ Vgl. Kapitel 3.3.3.

⁸¹ Vgl. Kapitel 3.3.3.

⁸² Vgl. Kapitel 3.3.2.

⁸³ die kalkulatorische AfA wird auf die durchschnittliche technische Nutzungsdauer angepasst und beträgt 20 Jahre.

⁸⁴ Vgl. Kapitel 3.3.3.

⁸⁵ Vgl. Kapitel 3.2.1.

⁸⁶ Annahme: Versicherungsprämie ca. 0,2 % von der Investition.

4.3.2 Erfolgsrechnung Wirbelschichtofenanlage

Nachfolgend wird die verkürzte Gliederungsdarstellung der GuV für das Fallbeispiel der MVA Graz als Wirbelschichtofenanlage dargestellt.

	[T€]
Umsatzerlöse	11.500
<i>Abfallentsorgung⁸⁷</i>	5.500
<i>Wärmeabsatz⁸⁸</i>	6.000
Material und bezogene Leistungen	1.800
<i>Betriebsmittel⁸⁹</i>	500
<i>Energie⁹⁰</i>	300
<i>Schlacke- und Ascheentsorgung⁹¹</i>	1.000
Personalaufwand⁹²	2.000
Abschreibung⁹³	4.000
sonstige betriebliche Aufwendungen	2.500
<i>Instandhaltung⁹⁴</i>	2.000
<i>Miet- und Pachtaufwand⁹⁵</i>	150
<i>Versicherungen⁹⁶</i>	150
<i>Unvorhergesehenes</i>	200
BETRIEBSERGEBNIS [EBIT]	1.200

Tab. 13: GuV Wirbelschichtofenanlage

⁸⁷ Quelle: Daten aus Marktbefragungen 2016; ENAGES, Wien Energie.

⁸⁸ Vgl. Kapitel 4.2.2.

⁸⁹ Vgl. Kapitel 3.3.3.

⁹⁰ Vgl. Kapitel 3.3.3.

⁹¹ Vgl. Kapitel 3.3.3.

⁹² Vgl. Kapitel 3.3.2..

⁹³ die kalkulatorische AfA wird auf die durchschnittliche technische Nutzungsdauer angepasst und beträgt 20 Jahre.

⁹⁴ Vgl. Kapitel 3.3.3.

⁹⁵ Vgl. Kapitel 3.2.1.

⁹⁶ Annahme: Versicherungsprämie ca. 0,2 % von der Investition.

4.3.3 Wirbelschicht vs. Rostfeuerung

Gemäß nachfolgender Tabelle 14 werden die wesentlichen Ergebnisse unter den bestehenden und angenommenen Rahmenbedingungen einer entsprechenden Hausmüllverbrennungsanlage für die Stadt Graz auf einem Blick dargestellt.

	Rostfeuerung	Wirbelschicht	Bemerkungen
Anlagenkapazität	~ 100.000 [ato]	~ 100.000 ato	Haus- und Sperrmüll, Klärschlamm
Anlagenverfügbarkeit	~ 6.500 [Std./a]	~ 6.500 [Std./a]	September/Okttober bis Mai/Juni
Anlagendurchsatz	~ 15,0 [to/Std.]	~ 15,0 [to/Std.]	Voll-/Teillastbereich 14,0 bis 19,0 [to/Std.]
Feuerungsleistung	~ 40 [MW]	~ 40 MW	durchschnittlicher Abfall-Heizwert 10 MJ/kg
Flächenbedarf	~ 16.000 [m ²]	~ 16.000 [m ²]	inkl. Zwischenlagerfläche ~ 6.000 m ²
Anlageninvestition	~ 100.000 [T€]	~ 80.000 [T€]	„grüne Wiese“, inkl. Planung u. Genehmigung
Personalkosten	~ 2.000 [T€ p.a.]	~ 2.000 [T€ p.a.]	~ 35 Personen
Instandhaltungskosten	~ 2.500 [T€ p.a.]	~ 2.000 [T€ p.a.]	Jahresgesamtkosten
Instandhaltungskosten	~ 25,0 [€ p.to _{Abfall}]	~ 20,0 [€ p.to _{Abfall}]	bezogen auf Abfallinput
Schlacke/Ascheanfall	27.000 [ato]	25.000 [ato]	Jahresanfall
Schlacke/Aschekosten	~ 1.200 [T€ p.a.]	~ 1.000 [T€ p.a.]	Jahresgesamtkosten
Schlacke/Aschekosten	~ 12,0 [€ p.to _{Abfall}]	~ 10,0 [€ p.to _{Abfall}]	bezogen auf Abfallinput
Schlacke/Asche-Wirtschaftlichkeit	5,8	5,5	bezogen auf Abfallerlös
Betriebsmittelkosten	~ 500 [T€ p.a.]	~ 500 [T€ p.a.]	Jahresgesamtkosten
Betriebsmittelkosten	~ 5,0 [€ p.to _{Abfall}]	~ 5,0 [€ p.to _{Abfall}]	bezogen auf Abfallinput
Energiekosten	~ 300 [T€ p.a.]	~ 300 [T€ p.a.]	Strom und Gas
Energieoutput	200 [GWh/a]	200 [GWh/a]	Jahresproduktion Wärme
Energie-Produktivität	2,0 [MWh/to]	2,0 [MWh/to]	Wärme pro Tonne Abfall
Energie-Wirtschaftlichkeit	2,4	3,0	bezogen auf Instandhaltung
Eigenkapital-Rentabilität	4,0 [%]	6,0 [%]	Annahme: 25 % Eigenkapital
Gesamtkapital-Rentabilität	2,9 [%]	3,3 [%]	Annahme: Zinssatz 5 %
Betriebsergebnis EBIT	~ 1.000 [T€ p.a.]	~ 1.200 [T€ p.a.]	verkürzte GuV
Abfallerlös	~ 7.000 [T€ p.a.]	~ 5.500 [T€ p.a.]	externe Voraufbereitung für WSO
Wärmeerlös	~ 6.000 [T€ p.a.]	~ 6.000 [T€ p.a.]	€ 30,0 p. MWh
Abschreibung	~ 5.000 [T€ p.a.]	~ 4.000 [T€ p.a.]	Dauer durchschnittlich 20 Jahre
Abfallbehandlungskosten	~ 120,0 [€/to _{Abfall}]	~ 103,0 [€/to _{Abfall}]	ohne Erlöse und ohne Voraufbereitung für WSO

Tab. 14: Gegenüberstellung Rostfeuerung vs. Wirbelschicht

5 Zusammenfassung und Resümee

In Anbetracht der kurz- bis mittelfristigen Herausforderungen der Stadt Graz zur nachhaltigen und kostenoptimierten Aufrechterhaltung der Fernwärmeversorgung für die Bürger, ist die Gewinnung von Wärme durch die Verbrennung von Hausmüll eine bereits erprobte Alternative und kann daher als Ergänzung zu anderen Aufbringungstechnologien gesehen werden. Um das gesellschaftliche Spannungsfeld einer urbanen Hausmüllverbrennungsanlage grundsätzlich aufzubereiten, ist die generelle Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage ein wesentliches Fundament für notwendige politische Diskussionen und Entscheidungen. Daher ist die Aufgabenstellung dieser Arbeit die Darstellung einer praxisorientierten, aber wissenschaftlich basierten Objektivierungsbetrachtung möglicher bereits großtechnisch umgesetzter Verfahrensvarianten von Hausmüllverbrennungstechnologien, die mittels betriebstechnischer und betriebswirtschaftlicher Kennzahlen beschrieben werden. Ziel ist es einerseits, die in Betracht kommenden Anlagenvariationen unter einander wirtschaftlich zu vergleichen und andererseits damit eventuell auch ein Benchmarking für andere alternativen Erzeugungsoptionen zu erhalten. Vordergründig stehen dabei die variablen Betriebskosten der Instandhaltung, der Schlacke- und Ascheentsorgung, sowie der Betriebsmittel im Betrachtungsfokus, da hierbei die wesentlichen operativen Gestaltungsmöglichkeiten vorliegen. Dafür werden sowohl für die Rostverbrennungsanlagen, als auch Wirbelschichtöfen die in der ABWL allgemein gültigen Kennzahlen, – Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Rentabilität –, herangezogen. Die Darstellung der betriebstechnischen Vergleichbarkeit wird durch, - Anlagendurchsatz, Anlagenverfügbarkeit und diverse Betriebskostensätze -, erläutert. Wesentlich dabei ist, dass Annahmen bzw. Betrachtungsgrenzen auf Basis von bestehenden Referenzanlagen gründen, um eine möglichst hohe Praxisrelevanz zu erhalten. Dafür werden von derzeit in Österreich betriebenen Müllverbrennungsanlagen aggregierte Daten als Grundlage verwendet. Die abfallrelevanten Daten entstammen interner Aufzeichnungen und Statistiken, sowie mittels einer aktuellen eigenen Marktrecherche wird das Abfallpreisgefüge erhoben.

Aus technischer Sicht unterscheiden sich die beiden Anlagentypen – Rostfeuerungsanlage und Wirbelschichtofenanlage – doch deutlich durch ihr sehr unterschiedliches Abfalleinsatzspektrum. Zum einen benötigt die Rostanlage keine Vorbehandlung bzw. Vorzerkleinerung des angelieferten Abfalles, zum anderen ist beim der Wirbelschichtofen eine grundsätzliche Vorzerkleinerung bzw. Abfallaufbereitung intern und/oder extern unbedingt erforderlich. Allerdings ergibt sich daraus für die Wirbelschichtanlage ein breiteres Einsatzspektrum aufgrund einer Vergleichmäßigung bzw. Homogenisierung des Anlageninputs. Zusätzlich ermöglicht die Wirbelschicht bei entsprechender technischer Ausgestaltung auch einen höheren Einsatz von Schlämmen und sonstigen pastösen Abfallstoffen. Außerdem wird durch die vorher notwendige Brennstoffaufbereitung die Wertstoffgewinnung direkt unterstützt, wobei bei der Rostfeuerung ausschließlich aus der Schlacke die Metallfraktionen mittels nachgeschalteten Schlackenaufbereitungsanlagen rückzugewinnen sind.

Das Abfallaufkommen der Stadt beträgt voraussichtlich im Jahr 2030 rd. 100.000 Jahrestonnen an Rest- und Sperrmüll, inklusive ca. 28.000 t kommunalen Klärschlamm aus der Stadtkläranlage in Graz-Gössendorf. Für diese Menge an Abfall bedarf es einer Hausmüllverbrennungsanlage mit einer Feuerungsleistung von ca. 40 MW_{thermisch} und einer Mindestdurchsatzleistung von 15 Tonnen pro Stunde. Die geplanten 6.500 Jahresvollaststunden ergeben sich durch einen ca. dreimonatigen saisonal bedingten Betriebsstillstand aufgrund fehlender Wärmeabnahme. Die zwischenzeitlich anfallenden Abfallmengen werden in ein dafür eigens errichtetes Zwischenlager aufgenommen. Die notwendige Anlageninvestition beträgt im Vergleich zu bereits bestehenden Müllverbrennungsanlagen unter Berücksichtigung der steigenden Baukosten je nach Anlagenvariante zwischen € 80 bis € 100 Mio. Zur Anlagenerrichtung wird ein Flächenbedarf inklusive Zwischenlager und Verkehrs-, sowie Manipulationsflächen von rd. 16.000 m² notwendig sein. Aus der Verbrennung kann man im Durchschnitt mit einer Energie-Produktivität von ca. 2 MW_{thermisch} pro verbrannter Tonne Abfall rechnen, woraus sich eine Gesamtproduktion von 200 GWh pro Jahr ergibt. Bei einem Jahresbedarf der Stadt von

ca. 1.000 GWh Wärme entspricht das ca. 20 Prozent der gesamt notwendigen Versorgungsmenge und stellt damit eine relevante Größenordnung für diesen Bereich dar.

Betrachtet man die betriebswirtschaftlichen Komponenten anhand des Fallbeispiels, so ergeben sich im Vergleich dieser beiden Varianten bzw. Anlagentypen keine wesentlichen signifikanten Unterschiede bzw. Vorteile für eine der beiden Müllverbrennungsverfahren. In Bezug auf die variablen Betriebskostensätze gemäß Kapitel 4.1.3 ergibt sich sowohl für die Rückstandsentsorgung und die Instandhaltungsaufwendungen ein geringfügiger Vorteil für die Wirbelschichtanlage. Die jährlichen Betriebsmittelkosten betragen für beide Anlagenvarianten ca. € 500.000,-, die Jahresinstandhaltungskosten für die Wirbelschicht ca. € 2 Mio. und für die Rostanlage ca. € 2,5 Mio. Die Menge an Verbrennungsrückständen ist bei Wirbelschicht mit ca. 25.000 Tonnen pro Jahr etwas niedriger als bei der Rostfeuerung mit 27.000 Jahrestonnen. Das bedeutet auch, dass die jährlichen Entsorgungskosten bei der Wirbelschicht mit ca. € 1 Mio. etwas geringer sind als bei der Rostfeuerung mit ca. € 1,2 Mio.

Auch beim Vergleich der freidefinierten betriebswirtschaftlichen Kennzahlen ist im Zusammenhang mit der Energieausbeute bezogen auf den Brennstoffeinsatz ein Vorteil für die Wirbelschicht zu erkennen, so liegt die Energie-Wirtschaftlichkeitskennzahl der Wirbelschicht bei einem Wert von 3,0 und jener der Rostfeuerung bei 2,4. Im Gegensatz dazu liegt das Verhältnis zwischen Abfallerlös und Aufwendungen für die Schlackenentsorgung zu Gunsten der Rostanlage, wobei der Berechnungswert für die Schlacken/Aschen- Wirtschaftlichkeit für die Rostfeuerung 5,8 und der für die Wirbelschicht 5,5 ergeben hat. Sowohl bei der Eigenkapital-, als auch die Gesamtkapitalrentabilität mit 3,3 % gegenüber 2,9 % liegt die Wirbelschichtofenanlage leicht im Vorteil. Nach den durchgeführten Erfolgsrechnungen gemäß 4.3.1 bzw. 4.3.2 ergeben sich für beide Anlagenvarianten unter den angenommen Rahmenbedingungen keine Präferenzen, vielmehr liegen die Betriebsergebnisse (EBIT) für die Wirbelschichtanlage mit € 1,2 Mio. und für die Rostfeuerung mit € 1,0 Mio. auf niedrigem Niveau. Das bedeutet, dass sich die Anlagengrößen aufgrund der erforderlichen Fixkostendeckungen generell im unteren notwendigen

betriebswirtschaftlichen Bereich befinden. Allerdings wird dies wesentlich durch die marktbedingte Erlössituation bestimmt, wobei sich hier die Abfallerlöse von ca. € 5,5 bis € 7 Mio. und die Wärmeerlöse von ca. € 6 Mio. im kommunizierenden Verhältnis zueinander befinden und daher können sich im Sinne der öffentlichen Daseinsvorsorge gewisse wirtschaftliche Handlungsspielräume ergeben. Ohne Berücksichtigung der Erlöspositionen ergeben sich für die Wirbelschichtanlage spezifische Abfallbehandlungskosten von rd. € 103,-/to verbrannter Abfall und für die Rostfeuerungsanlage € 120,-/to. Die etwaigen anfallenden Vorbehandlungskosten für die Wirbelschicht von ca. € 20,-/to bis € 25,-/to sind indirekt über die geringeren Entsorgungserlöse („gate fees“) berücksichtigt.

Daher ist aus ökonomischer Sicht die Umsetzung einer solchen Anlage für die Stadt Graz unter den angenommenen Bedingungen als generell überlegenswerte Alternative zur Wärmeversorgung der Stadt Graz, mit dem zusätzlichen nachhaltigen Asset der Unabhängigkeit im Bereich der kommunalen Abfallentsorgung anzusehen. Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse in Bezug auf die definierten Betrachtungsszenarien erscheint eine Wirbelschichtofenanlage für die Stadt Graz als gesamtheitlich interessantere Variante, insofern bereits ein bestehender eigener Abfallbehandlungsstandort in der Sturzgasse über entsprechend notwendige technische Einrichtungen verfügt und derzeit schon wirbelschichtfähige Abfallbrennstoffe für andere thermische Verwertungsanlagen produziert wird.

Literatur- und Quellenverzeichnis

Abfall- und Stoffflusswirtschaft Land Steiermark:

Endbericht über Sortieranalysen für Restmüll aus der Steiermark; 2014

Abfall- und Stoffflusswirtschaft Land Steiermark: Abfallstrom - Klärschlamm

URL:<http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/11084091/4373998/> 2.4.2015

Bilitewski B., Härdtle G.: Abfallwirtschaft - Handbuch für die Praxis, 4. Aufl., Berlin Heidelberg 2013

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Bericht des BMLFUW über Verbrennungs- und Mittverbrennungsanlagen gem. § 18 AVV (Berichtsjahr 2013)

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Thermische Abfallbehandlung in Österreich – Weißbuch; 2. Auflage (Wien, 2009)

Däumler K.-D., Grabe J.: Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsberechnung, 13. Aufl., Herne 2014

Doralt W.(Hrsg.): Kodex Abfallrecht 2015, 36. Aufl., Wien 2015

Energie- und Abfallverwertungs GmbH; detaillierte GuV für 2009 bis 2011

Enzner V., Kuchata K.: Metalle aus der Rostasche

In: Müll und Abfall – Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG – Jahr 2016, Heft: 05/2016

Geyer A., Hanke M., Littich E., Nettekoven M.: Grundlagen der Finanzierung, 5. Aufl., Wien 2015

Harather K. (IUT); Investitionsprogramm 2030 Holding Graz, Bereich Abfall (Sebenstein 2014)

Härdler J.: Betriebswirtschaftslehre für Ingenieure, 5.Aufl., München 2012

Humitsch Immobilien Consulting

URL:<http://www.immobilienscout24.at/expose/> (16.5.2016)

Jahrmann, F.U.: Finanzierung, 6.Aufl., Herne 2009

Kranert M., Cord-Landwehr K. (Hrsg.): Einführung in die Abfallwirtschaft, 3. Aufl., Wiesbaden 2010

KRV/Anlage/technische Daten

URL:http://www.krv.co.at/default2.asp?active_page_id=303&parent_page_id=91&pparent_page_id=1 (3.6.2016)

Losbichler H., Eisl C., Engelbrechtsmüller C. (Hrsg.): Handbuch der betriebswirtschaftlichen Kennzahlen, Wien 2015

Neubacher F. (UVP GmbH): 14. Symposium Energieinnovation TU Graz (Wien 2016)

Neubacher F. (UVP GmbH); Studie „WAG 2020“ (Wien 2014)

NN: Müllverbrennungsanlage Spittelau nimmt Betrieb wieder auf

In: Umweltschutz. – Wien: Bohmann Druck und Verlag GmbH&Co.KG; Heft: 02/2014

Sattler W. (Holding Graz); Kennzahlen Abfallmengen 2004 – 2014 (Graz 2014)

- Scholz R., Beckmann M., Schulenburg F.:** Abfallbehandlung in thermischen Verfahren, Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden 2001
- Schwister K., Leven V.:** Verfahrenstechnik für Ingenieure, Leipzig 2013
- Spiegel H.** (Energie Steiermark): Umsetzung einer Abfallverbrennungsanlage (Mai 2014)
- Stelling J.N.:** Kostenmanagement und Controlling, 3.Aufl., München 2009
- Thome´-Kozmiensky K.J.,** (Hrsg.): Müllverbrennung und Umwelt 5, Berlin 1991
- Thome´-Kozmiensky K.J., Beckmann M.** (Hrsg.): Energie aus Abfall – Band 2, Neuruppin 2007
- Thome´-Kozmiensky K.J., Beckmann M.** (Hrsg.): Energie aus Abfall – Band 4, Neuruppin 2008
- Thome´-Kozmiensky K.J., Beckmann M.** (Hrsg.): Energie aus Abfall – Band 8, Neuruppin 2011
- Thome´-Kozmiensky K.J., Beckmann M.** (Hrsg.): Energie aus Abfall – Band 9, Neuruppin 2012
- Thome´-Kozmiensky K.J., Beckmann M.** (Hrsg.): Energie aus Abfall – Band 10, Neuruppin 2013
- Thome´-Kozmiensky K.J.,** (Hrsg.): Schlacken. Aschen. Stäube – aus Abfallverbrennung und Metallurgie, Neuruppin 2013
- Umweltbundesamt GmbH:** Leitfaden für Abfallverbrennungsanlagen thermische Kraftwerke und Feuerungsanlagen (Wien 2008)
- Umweltbundesamt GmbH:** Abfallverbrennung in Österreich; Statusbericht 2006 (Wien 2007)
- Wöhe G.:** Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 25.Aufl., München 2013

Graz, 20.Oktober 2016

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form für keine andere Prüfungsleistung verwendet.

Helmut Wilfinger
Mtk. Nr.: 33896